



TUGAS AKHIR – RC14-1501

**PERENCANAAN STRUKTUR JEMBATAN TRUCUK  
KABUPATEN BOJONEGORO DENGAN  
MENGUNAKAN METODE *SEMI-HARP PATTERN*  
*CABLE STAYED***

RIZAL NUR SYAMSU  
NRP 3114 105 038

Dosen Pembimbing I  
Prof. Tavio, ST., MT., Ph.D.  
NIP. 197003271997021001

Dosen Pembimbing II  
Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo M., MS.  
NIP. 195503251980031004

DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2017



TUGAS AKHIR - RC14-1501

**DESAIN STRUKTUR JEMBATAN TRUCUK  
KABUPATEN BOJONEGORO DENGAN  
MENGUNAKAN METODE *SEMI-HARP PATTERN  
CABLE STAYED***

RIZAL NUR SYAMSU  
NRP 3114 105 038

Dosen Pembimbing I :  
Prof. Tavio, ST., MT., Ph.D.  
NIP. 197003271997021001

Dosen Pembimbing II :  
Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo M., MS.  
NIP. 195503251980031004

JURUSAN TEKNIK SIPIL  
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2017



FINAL PROJECT – RC14-1501

**DESIGN STRUCTURE OF TRUCUK BRIDGE  
BOJONEGORO WITH USE SEMI-HARP PATTERN  
CABLE STAYED METHOD**

RIZAL NUR SYAMSU  
NRP 3114 105 038

Supervisor I :  
Prof. Tavio, ST., MT., Ph.D.  
NIP. 197003271997021001

Supervisor II :  
Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo M., MS.  
NIP. 195503251980031004

DEPARTMENT OF CIVIL ENGINEERING  
Faculty of Civil Engineering and Planning  
Sepuluh Nopember Institute of Technology  
Surabaya 2017

**DESAIN STRUKTUR JEMBATAN TRUCUK  
KABUPATEN BOJONEGORO DENGAN  
MENGUNAKAN METODE *SEMI-HARP PATTERN*  
*CABLE STAYED***

**TUGAS AKHIR**

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada  
Program Studi S-1 Lintas Jalur Jurusan Teknik Sipil  
Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**RIZAL NUR SYAMSU**  
NRP. 3114 105 038

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir

1. Prof. Tawio, ST., MT., Ph.D. .... (Pembimbing I)
2. Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo M., MS. .... (Pembimbing II)

**SURABAYA  
JUNI 2017**



*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

# **DESAIN STRUKTUR JEMBATAN TRUCUK KABUPATEN BOJONEGORO DENGAN MENGUNAKAN METODE *SEMI-HARP PATTERN* *CABLE STAYED***

**Nama Mahasiswa : Rizal Nur Syamsu**  
**NRP : 3114105038**  
**Jurusan : Teknik Sipil FTSP-ITS**  
**Dosen Pembimbing : Prof. Tavio, ST., MT., Ph.D**  
**Dr. Ir. Hidayat S. M., MS**

## **Abstrak**

Di suatu daerah kecamatan Trucuk Kabupaten Bojonegoro dilalui oleh sungai Bengawan Solo. Banyak masyarakat yang akan melewati sungai tersebut harus memutar lebih jauh sehingga pemerintahan Kabupaten Bojonegoro akan membangun sebuah jembatan agar memudahkan masyarakat setempat sekaligus menjadi salah satu jalan alternatif untuk tidak terlalu memutar lebih jauh. Jembatan Trucuk Kabupaten Bojonegoro dengan bentang 147m kurang efektif jika didesain menggunakan beton prategang karena akan membutuhkan banyak pilar. Jembatan dengan bentang tersebut akan lebih efektif menggunakan jembatan *cable stayed* dimana jembatan tersebut termasuk jembatan bentang panjang.

Dalam perencanaan ini jembatan Trucuk akan didesain menggunakan konstruksi *semi-harp pattern cable stayed* dengan *double plane system* atau sistem dua bidang menggunakan dek baja. Dengan menggunakan *double plane system* dapat menyeimbangkan dan mengurangi torsi yang berlebihan. Untuk lantai kendaraan akan didesain berupa pelat baja (*orthotropic*). Keuntungan dari *deck* baja ialah berat sendiri yang tidak terlalu besar. Dalam penelitian lantai kendaraan yang lebih efektif, kemanduan besar telah dibuat dengan perkembangan dek baja *orthotropic*. Gelagar memanjang (rusuk) berupa *open ribs* dan gelagar utamanya berupa *box girder* dengan material baja karena

lebih ringan daripada beton. Sedangkan pilar atau *pylon* akan menggunakan material beton berongga.

Pada permodelan akan menggunakan program bantu *software* MIDAS CIVIL 2011 dan SAP 2000 V14. Dari hasil analisa mendapatkan dimensi tebal pelat *orthotropic* dengan ketebalan 1,5 cm yang bekerjasama dengan gelagar memanjang (*ribs*) dengan dimensi profil T 175.175.7.1. Pada gelagar melintang berupa profil T 700.300.18.34 sedangkan gelagar kantilever berupa profil T 400.200.8.13. Untuk gelagar utama berupa *box girder* dengan dimensi 1800.1200.50.50 dengan pengaku 150.18 yang memiliki sambungan baut mengelilingi penampang. Kabel menggunakan *VSL SSI 2000 7-wire strand*, tipe ASTM A 416-05 Grade 270 dengan jumlah *strand* bervariasi mulai dari 12,31 dan 43 untaian *strand*. *Pylon* menggunakan dimensi 4x2,5 m untuk *section* A-A, sedangkan *section* B-B yang merupakan balok pengaku bawah memiliki dimensi 2,5x2 m dan *section* C-C untuk balok pengaku atas berukuran 1,5x1,2m.

**Kata kunci :** *cable stayed, semi harp pattern, dan orthotropic*

# **DESIGN STRUCTURE OF TRUCUK BRIDGE BOJONEGORO WITH USE SEMI-HARP PATTERN CABLE STAYED METHOD**

## **ABSTRACT**

**Name Student : Rizal Nur Syamsu**  
**NRP : 3114105038**  
**Major : Civil Engineering FTSP-ITS**  
**Supervisor : Prof. Tavio, ST., MT., Ph.D**  
**Dr. Ir. Hidayat S. M., MS**

## **Abstract**

The bridge is located at Trucuk Village Bojonegoro District which passes over the Bengawan Solo River. The bridge facilitates the vehicles to pass over the river without taking more distance to reach the destination at the other side of the river. Therefore, the Bojonegoro Government needs to build a bridge to facilitate the resident and it can become one of the alternative way to pass over the Bengawan Solo river. The Trucuk Bridge has a full-length of 147 meter is considered not suitable if it is designed using segmental concrete bridge girders due to the number of pillars required to support the bridge. The bridge uses *VSL SSI 2000 7-wire strand*, type ASTM A 416-05 Grade 270 for the cables. The pylon dimensions is 4 x 2.5 m, 2.5 x 2 m, 1.5 x 1,2 m for A – A, B – B, and C – C sections, respectively.

**Keywords :** *cable stayed, concrete, orthotropic, semi harp pattern, steel structure.*

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## **KATA PENGANTAR**

Tersusunnya Tugas Akhir ini juga tidak terlepas dari dukungan dan motivasi berbagai pihak yang banyak membantu dan memberi masukan. Untuk itu ucapan terima kasih ditujukan terutama kepada :

1. Orang tua dan segenap keluarga besar penulis sebagai penyemangat terbesar bagi kami, dan yang telah banyak memberi dukungan moril maupun materiil terutama doanya.
2. Bapak Prof. Tavio, ST., MT., Ph.D. dan Bapak Dr. Ir. Hidayat Soegihardjo M., MS., selaku dosen pembimbing yang telah banyak memberikan bimbingan, arahan, petunjuk, dan motivasi dalam penyusunan tugas akhir ini.
3. Teman-teman yang telah memberikan semangat, dukungan, dan bantuan ketika penulis menghadapi permasalahan sehingga dapat menemukan solusi atas permasalahan yang dihadapi.
4. Segenap Dosen dan Staf Jurusan Teknik Sipil, FTSP, ITS.
5. Dan pihak-pihak lain yang telah membantu penulis baik secara langsung maupun tidak langsung dalam pengerjaan Tugas Akhir ini.

Kami menyadari bahwa dalam penyusunan Tugas Akhir ini masih banyak kekurangan dan masih jauh dari sempurna, untuk itu kami mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi kesempurnaan Tugas Akhir ini.

Surabaya, Juni 2017

Penulis

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## DAFTAR ISI

|   |             |
|---|-------------|
| <b>JUDUL.....</b>                           | <b>i</b>    |
| <b>TITLE.....</b>                           | <b>ii</b>   |
| <b>LEMBAR PENGESAHAN.....</b>               | <b>iii</b>  |
| <b>ABSTRAK.....</b>                         | <b>v</b>    |
| <b>ABSTRACT .....</b>                       | <b>vii</b>  |
| <b>KATA PENGANTAR .....</b>                 | <b>ix</b>   |
| <b>DAFTAR ISI.....</b>                      | <b>xi</b>   |
| <b>DAFTAR TABEL.....</b>                    | <b>xv</b>   |
| <b>DAFTAR GAMBAR .....</b>                  | <b>xvii</b> |
| <b>BAB I.....</b>                           | <b>1</b>    |
| <b>PENDAHULUAN .....</b>                    | <b>1</b>    |
| 1.1.Latar Belakang .....                    | 1           |
| 1.2.Perumusan Masalah .....                 | 2           |
| 1.3.Batasan Masalah.....                    | 2           |
| 1.4.Tujuan .....                            | 3           |
| 1.4.1. Tujuan Umum.....                     | 3           |
| 1.4.2. Tujuan Khusus .....                  | 3           |
| 1.5.Manfaat .....                           | 3           |
| <b>BAB II.....</b>                          | <b>5</b>    |
| <b>TINJAUAN PUSTAKA .....</b>               | <b>5</b>    |
| 2.1.Umum.....                               | 5           |
| 2.2.Tipe Kabel.....                         | 5           |
| 2.2.1. Susunan Kabel .....                  | 6           |
| 2.3.Gelagar Utama ( <i>Girder</i> ).....    | 10          |
| 2.4. <i>Deck</i> (Lantai Kendaraan) .....   | 12          |
| 2.5. <i>Pylon</i> (tiang).....              | 14          |
| <b>BAB III.....</b>                         | <b>15</b>   |
| <b>METODOLOGI .....</b>                     | <b>15</b>   |
| 3.1.Bagan Alir Metodologi .....             | 15          |
| 3.2.Metodologi Pengerjaan Tugas Akhir ..... | 16          |
| 3.2.1. Studi Literatur.....                 | 16          |



|   |           |
|---|-----------|
| 3.2.2. Pengumpulan Data.....                        | 16        |
| 3.3. <i>Preliminary Design</i> .....                | 17        |
| 3.3.1. Susunan Kabel .....                          | 17        |
| 3.3.2. Dimensi Gelagar .....                        | 18        |
| 3.3.3. Dimensi Kabel .....                          | 19        |
| 3.3.4. Dimensi <i>Pylon</i> .....                   | 20        |
| 3.4. Permodelan Struktur.....                       | 21        |
| 3.4.1. Pembebanan Statis .....                      | 21        |
| 3.4.2. Pembebanan Dinamis .....                     | 25        |
| 3.4.3. Metode Pelaksanaan .....                     | 26        |
| 3.5. Kontrol Stabilitas .....                       | 27        |
| 3.6. Gambar Teknik .....                            | 30        |
| <b>BAB IV .....</b>                                 | <b>31</b> |
| <b>PEMBAHASAN.....</b>                              | <b>31</b> |
| 4.1. <i>Preliminary Design</i> .....                | 31        |
| 4.1.1. Konfigurasi Susunan Kabel .....              | 31        |
| 4.1.2. Dimensi Gelagar .....                        | 34        |
| 4.1.3. Dimensi Kabel dan Anker .....                | 36        |
| 4.1.4. Dimensi <i>Pylon</i> .....                   | 40        |
| 4.2. Struktur Sekunder .....                        | 43        |
| 4.2.1. Tiang dan Pipa Sandaran .....                | 43        |
| 4.2.2. Perencanaan Pelat Lantai Kendaraan .....     | 49        |
| 4.2.3. Perencanaan Rusuk di Atas Perletakan Kaku .. | 52        |
| 4.3. Gelagar Melintang & Gelagar Kantilever .....   | 76        |
| 4.3.1. Gelagar Melintang .....                      | 76        |
| 4.3.2. Gelagar Kantilever.....                      | 98        |
| 4.4. Permodelan Sehubung Metode Pelaksanaan.....    | 116       |
| 4.4.1. Permodelan Struktur .....                    | 116       |
| 4.4.2. <i>Staging analysis</i> .....                | 136       |
| 4.5. Gelagar Utama .....                            | 157       |
| 4.5.1. Data Gelagar Utama .....                     | 157       |
| 4.5.2. Hasil Analisa Struktur.....                  | 159       |
| 4.5.3. Sambungan Gelagar Utama .....                | 167       |
| 4.6. Struktur Kabel .....                           | 175       |

|   |            |
|---|------------|
| 4.6.1. Data Perencanaan.....                            | 175        |
| 4.6.2. Gaya Tarik ( <i>Stressing</i> ) Kabel .....      | 176        |
| 4.6.3. Analisa Penampang Kabel dengan $A_{pakai}$ ..... | 178        |
| 4.6.4. Analisa Anker pada gelagar .....                 | 180        |
| 4.7. Struktur <i>Pylon</i> .....                        | 185        |
| 4.7.1. Gaya Dalam pada <i>Pylon</i> .....               | 185        |
| 4.7.2. Analisa Penampang <i>Pylon Section A-A</i> ..... | 187        |
| 4.7.3. Perhitungan Tulangan Daerah Pengangkuran.....    | 203        |
| 4.7.4. Analisa Balok Pengaku .....                      | 205        |
| 4.8. Anker Pada <i>Pylon</i> .....                      | 224        |
| 4.8.1. Gaya Dalam pada <i>Pylon</i> .....               | 224        |
| 4.8.2. Perhitungan Anker Pada <i>Pylon</i> .....        | 224        |
| 4.9. Desain Perletakkan.....                            | 228        |
| 4.9.1. Desain <i>Pot Bearing</i> .....                  | 228        |
| 4.9.2. Desain <i>Expansion Joint</i> .....              | 231        |
| 4.10. Kontrol Stabilitas Aerodinamis .....              | 233        |
| 4.10.1. Frekuensi Alami.....                            | 233        |
| 4.10.2. Efek vortex-shedding.....                       | 236        |
| 4.10.3. Efek <i>Flutter</i> (Ayunan) .....              | 241        |
| <b>BAB V .....</b>                                      | <b>247</b> |
| <b>PENUTUP .....</b>                                    | <b>247</b> |
| 5.1. Kesimpulan .....                                   | 247        |
| 5.2. Saran.....   | 249        |
| <b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>                             | <b>251</b> |
| <b>BIODATA PENULIS .....</b>                            | <b>255</b> |
| <b>LAMPIRAN .....</b>                                   | <b>257</b> |

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## DAFTAR TABEL

|  |     |
|--|-----|
| <b>Tabel 3.1</b> Nilai $V_0$ dan $Z_0$ untuk variasi kondisi permukaan hulu                        | 24  |
| <b>Tabel 3.2</b> Tekanan angin dasar .....   | 25  |
| <b>Tabel 4.1</b> Jenis Kabel dan Anker .....   | 37  |
| <b>Tabel 4.2</b> Dimensi kabel .....   | 39  |
| <b>Tabel 4.4</b> Gaya Aksial pada <i>Pylon</i> .....   | 40  |
| <b>Tabel 4.5</b> Rekapitulasi pembebanan gelagar melintang.....                                    | 81  |
| <b>Tabel 4.6</b> Kombinasi pembebanan.....   | 81  |
| <b>Tabel 4.7</b> Hasil analisa struktur dengan MIDAS CIVIL V2011.                                  | 82  |
| <b>Tabel 4.8</b> Hasil analisa gaya geser (BTR + BGT) .....  | 85  |
| <b>Tabel 4.9</b> Hasil analisa lendutan gelagar melintang .....                                    | 88  |
| <b>Tabel 4.10</b> Rekapitulasi Pembebanan Gelagar Kantilever.....                                  | 101 |
| <b>Tabel 4.11</b> Kombinasi Pembebanan .....   | 101 |
| <b>Tabel 4.12</b> Hasil analisa gaya dalam gelagar kentilever .....                                | 102 |
| <b>Tabel 4.12</b> Hasil analisa lendutan gelagar melintang .....                                   | 106 |
| <b>Tabel 4.13</b> Nilai $V_0$ dan $Z_0$ untuk variasi kondisi permukaan hulu .....                 | 122 |
| <b>Tabel 4.14</b> Tekanan angin dasar .....  | 122 |
| <b>Tabel 4.15</b> Nilai <i>response spectrum</i> pada arah Y .....                                 | 126 |
| <b>Tabel 4.16</b> Nilai <i>response spectrum</i> pada arah X .....                                 | 126 |
| <b>Tabel 4.17</b> Kombinasi pembebanan untuk analisa statik .....                                  | 132 |
| <b>Tabel 4.18</b> Ilustrasi dari konfigurasi beban tampak atas.....                                | 132 |
| <b>Tabel 4.19</b> Kombinasi pembebanan untuk analisa dinamik .....                                 | 134 |
| <b>Tabel 4.20</b> Ilustrasi dari konfigurasi beban tampak atas.....                                | 134 |
| <b>Tabel 4.21</b> FT-S form traveler overhead model specification ..                               | 143 |
| <b>Tabel 4.22</b> Konfigurasi pembebanan saat <i>staging analysis</i> .....                        | 145 |
| <b>Tabel 4.23</b> Hasil dari pembebanan saat <i>staging analysis</i> untuk <i>box girder</i> ..... | 153 |
| <b>Tabel 4.24</b> Hasil dari pembebanan saat <i>staging analysis</i> untuk kabel .....             | 153 |
| <b>Tabel 4.25</b> Hasil dari pembebanan saat <i>staging analysis</i> untuk <i>pylon</i> .....      | 154 |
| <b>Tabel 4.26</b> Hasil beban <i>ultimate</i> untuk <i>box girder</i> .....                        | 154 |
| <b>Tabel 4.27</b> Hasil beban layan untuk <i>box girder</i> .....                                  | 154 |

|  |     |
|--|-----|
| <b>Tabel 4.28</b> Hasil beban <i>ultimate</i> untuk kabel.....                                   | 155 |
| <b>Tabel 4.29</b> Hasil beban layan untuk kabel.....   | 155 |
| <b>Tabel 4.30</b> Hasil beban <i>ultimate</i> untuk <i>pylon</i> .....                           | 155 |
| <b>Tabel 4.31</b> Hasil beban layan untuk <i>pylon</i> .....                                     | 156 |
| <b>Tabel 4.32</b> Gaya dalam pada gelagar utama .....  | 159 |
| <b>Tabel 4.33</b> Jumlah <i>strand</i> dan luas kabel pada preliminary desain .....              | 176 |
| <b>Tabel 4.34</b> Gaya tarik awal ( <i>stressing</i> ) pada masing-masing kabel .....            | 177 |
| <b>Tabel 4.35</b> Kebutuhan luas akibat <i>pretension</i> .....                                  | 177 |
| <b>Tabel 4.36</b> Gaya tarik masing-masing kabel.....  | 178 |
| <b>Tabel 4.37</b> Kebutuhan <i>strand</i> dan luas penampang sebenarnya.....                     | 178 |
| <b>Tabel 4.38</b> Hasil analisa gaya tarik dari $A_{pakai}$ .....                                | 179 |
| <b>Tabel 4.39</b> Kemampuan kabel dari $A_{spakai}$ .....  | 179 |
| <b>Tabel 4.41</b> Perhitungan angker keseluruhan.....  | 182 |
| <b>Tabel 4.42</b> Gaya dalam pada <i>pylon section A-A</i> .....                                 | 186 |
| <b>Tabel 4.43</b> Gaya dalam pada <i>pylon section B-B</i> .....                                 | 186 |
| <b>Tabel 4.44</b> Gaya dalam pada <i>pylon section C-C</i> .....                                 | 187 |
| <b>Tabel 4.45</b> kebutuhan tulangan pada daerah angkur kabel .....                              | 205 |
| <b>Tabel 4.46</b> Hasil analisa gaya tarik dari $A_{pakai}$ .....                                | 224 |
| <b>Tabel 4.47</b> Data anker yang digunakan .....  | 225 |
| <b>Tabel 4.48</b> Kontrol tegangan beton pada <i>pylon</i> saat <i>stressing</i> ..              | 227 |
| <b>Tabel 4.49</b> Kapasitas <i>unidirectional pot bearing</i> dengan tipe PU 1120/800/H2 EN..... | 230 |
| <b>Tabel 4.51</b> Nilai $f_B$ dan $f_T$ .....  | 236 |

## DAFTAR GAMBAR

|   |    |
|---|----|
| <b>Gambar 2.1</b> Sistem satu bidang ( <i>one-plane bridge</i> ) .....  | 7  |
| <b>Gambar 2.2</b> Sistem dua bidang ( <i>two-plane bridge</i> ) .....   | 7  |
| <b>Gambar 2.3</b> Sistem tiga bidang ( <i>three-plane bridge</i> ) .....  | 8  |
| <b>Gambar 2.4</b> <i>Harp pattern</i> (pola kecapi).....  | 9  |
| <b>Gambar 2.5</b> <i>Fan pattern</i> (pola kipas).....  | 9  |
| <b>Gambar 2.6</b> <i>Semi Harp pattern</i> (pola setengah kecapi) .....   | 10 |
| <b>Gambar 2.7</b> <i>Asymmetric pattern</i> (pola tidak simetris) .....   | 10 |
| <b>Gambar 2.8</b> Macam macam <i>steel girders</i> ( Troitsky, 1977) .....  | 11 |
| <b>Gambar 2.9</b> Macam macam <i>trusses</i> .....  | 11 |
| <b>Gambar 2.10</b> Macam macam <i>concrete girders</i> .....  | 12 |
| <b>Gambar 2.11</b> <i>Orthotopic deck</i> dengan sistem (a) <i>open ribs</i> ; (b) <i>close ribs</i> (Heins, 2000)..... | 13 |
| <b>Gambar 2.12</b> Gelagar komposit pada jembatan cable stayed (Brockenbrough and Merrit, 2011).....                    | 14 |
| <b>Gambar 2.13</b> Tipe bidang <i>pylon</i> (tiang) .....   | 14 |
| <b>Gambar 3.1</b> Bagan Alir Metodologi Pengerjaan Tugas Akhir...   | 15 |
| <b>Gambar 3.2</b> Tampak Memanjang Jembatan Trucuk .....  | 17 |
| <b>Gambar 3.3</b> Tinggi optimum <i>pylon</i> .....   | 18 |
| <b>Gambar 3.4</b> Bentuk <i>pylon</i> menggunakan bentuk <i>Twin Tower</i> ...  | 21 |
| <b>Gambar 3.5</b> Beban lajur “D” .....   | 22 |
| <b>Gambar 3.6</b> Beban Truk “T” (500 kN) .....   | 23 |
| <b>Gambar 3.7</b> Metode pelaksanaan kantilever .....   | 26 |
| <b>Gambar 3.8</b> Metode pelaksanaan kantilever .....   | 26 |
| <b>Gambar 3.9</b> Efek angin .....  | 28 |
| <b>Gambar 3.10</b> Efek ayunan dengan beda fase $\pi/2$ .....   | 30 |
| <b>Gambar 4.1</b> Susunan kabel arah memanjang berupa <i>semi-harp pattern</i> (dalam meter) .....                      | 32 |
| <b>Gambar 4.2</b> Susunan kabel arah melintang berupa <i>double planes system</i> (dalam meter).....                    | 33 |
| <b>Gambar 4.3</b> Preliminary <i>box girder</i> (dalam meter).....  | 34 |
| <b>Gambar 4.4</b> Penampang melintang dek (dalam meter) .....   | 36 |
| <b>Gambar 4.5</b> Penampang <i>pylon</i> (dalam meter).....   | 42 |
| <b>Gambar 4.6</b> Tiang sandaran (dalam m).....   | 43 |

|   |     |
|---|-----|
| <b>Gambar 4.7</b> Profil sandaran (dalam mm).....   | 44  |
| <b>Gambar 4.8</b> Penampang pipa sandaran.....  | 45  |
| <b>Gambar 4.9</b> Sambungan las (dalam mm).....   | 47  |
| <b>Gambar 4.10</b> Beban Roda Truck Pada Lantai kendaraan .....   | 51  |
| <b>Gambar 4.11</b> Reaksi pada rusuk (dalam mm).....  | 54  |
| <b>Gambar 4.12</b> Geometri rusuk (dalam mm) .....  | 56  |
| <b>Gambar 4.14</b> Beban truk pada rusuk di tumpuan.....  | 61  |
| (satuan dalam mm) .....   | 61  |
| <b>Gambar 4.15</b> Beban mati yang dipikul satu rusuk.....  | 64  |
| <b>Gambar 4.16</b> Sambungan rusuk terhadap gelagar melintang ....                                      | 67  |
| <b>Gambar 4.17</b> Sambungan las pada rusuk.....  | 67  |
| <b>Gambar 4.18</b> Sambungan balok pada rusuk.....  | 75  |
| <b>Gambar 4.19</b> Gelagar melintang dan gelagar kantilever.....  | 76  |
| <b>Gambar 4.20</b> Potongan gelagar melintang (dalam mm) .....  | 77  |
| <b>Gambar 4.21</b> Pembebanan gelagar melintang (dalam m) .....   | 78  |
| <b>Gambar 4.22</b> Beban hidup (BTR+BGT) max pada gelagar<br>melintang (dalam meter).....               | 78  |
| <b>Gambar 4.23</b> Beban Truk ( $T_1$ ) dan ( $T_2$ ) pada gelagar melintang<br>(dalam meter) .....     | 80  |
| <b>Gambar 4.24</b> Beban geser max pada gelagar melintang akibat<br>beban BGT + BTR (dalam meter) ..... | 85  |
| <b>Gambar 4.25</b> Gaya geser akibat beban Truk (dalam m) .....   | 85  |
| <b>Gambar 4.26</b> Sketsa lebar efektif gelagar melintang .....   | 87  |
| <b>Gambar 4.27</b> Sambungan gelagar melintang ke <i>box girder</i> .....                               | 89  |
| <b>Gambar 4.28</b> Tebal efektif las sudut .....  | 91  |
| <b>Gambar 4.29</b> Sambungan gelagar melintang .....  | 97  |
| <b>Gambar 4.30</b> Ilustrasi beban mati pada gelagar kantilever.....                                    | 99  |
| <b>Gambar 4.31</b> Ilustrasi beban mati tambahan pada gelagar<br>kantilever (dalam m) .....             | 100 |
| <b>Gambar 4.32</b> Sambungan gekagar melintang ke <i>box girder</i> ....                                | 107 |
| <b>Gambar 4.33</b> Tebal efektif las sudut .....  | 109 |
| <b>Gambar 4.34</b> Sambungan gelagar melintang .....  | 115 |
| <b>Gambar 4.35</b> Tampak perspektif jembatan .....   | 116 |
| <b>Gambar 4.36</b> Tampak melintang jembatan .....  | 117 |
| <b>Gambar 4.37</b> Tampak memanjang jembatan .....  | 117 |

|   |     |
|---|-----|
| <b>Gambar 4.38</b> Tampak atas jembatan.....  | 117 |
| <b>Gambar 4.39</b> Tampak melintang dek jembatan .....                              | 118 |
| <b>Gambar 4.40</b> Ilustrasi beban rem berupa gaya horizontal dan momen torsi.....  | 120 |
| <b>Gambar 4.41</b> Ilustrasi beban angin kendaraan menjadi momen torsi.....         | 124 |
| <b>Gambar 4.42</b> Grafik respon spektra .....                                      | 125 |
| <b>Gambar 4.43</b> Grafik <i>response spectrum</i> .....                            | 127 |
| <b>Gambar 4.44</b> Grafik <i>response spectrum</i> pada MIDAS CIVIL .....           | 128 |
| <b>Gambar 4.45</b> Peta respon spektra Indonesia .....                              | 129 |
| <b>Gambar 4.46</b> Gaya tarik awal tiap kabel .....                                 | 136 |
| <b>Gambar 4.47</b> Pendirian <i>pylon</i> dan penempatan <i>deck</i> D1 & D1' ..... | 137 |
| <b>Gambar 4.48</b> Pemasangan kabel C1 & C1' .....                                  | 138 |
| <b>Gambar 4.49</b> Pemasangan <i>deck</i> D2-D4 & D2'-D4' .....                     | 138 |
| <b>Gambar 4.50</b> Pemasangan kabel C2 & C2' .....                                  | 139 |
| <b>Gambar 4.51</b> Pemasangan <i>deck</i> D5-D6 & D5'-D6' .....                     | 139 |
| <b>Gambar 4.52</b> Pemasangan kabel C3 & C3' .....                                  | 140 |
| <b>Gambar 4.53</b> Pemasangan <i>deck</i> D7-D9 & D7'-D9' .....                     | 140 |
| <b>Gambar 4.54</b> Pemasangan kabel C4 & C4' .....                                  | 141 |
| <b>Gambar 4.55</b> Pemasangan <i>deck</i> D10-D11 & D10'-D11' .....                 | 141 |
| <b>Gambar 4.56</b> Pemasangan kabel C5 & C5' .....                                  | 141 |
| <b>Gambar 4.57</b> Pemasangan <i>deck</i> D12-D13 & D12'-D13' .....                 | 142 |
| <b>Gambar 4.58</b> Contoh <i>form traveler</i> yang digunakan .....                 | 142 |
| <b>Gambar 4.59</b> Segmen <i>deck</i> pada saat pengangkatan.....                   | 144 |
| <b>Gambar 4.60</b> (A) tampak depan, (B) potongan A-A.....                          | 146 |
| <b>Gambar 4.61</b> Permodelan dan input beban untuk <i>form traveler</i> .....      | 146 |
| <b>Gambar 4.62</b> Hasil analisa reaksi untuk <i>form traveler</i> .....            | 147 |
| <b>Gambar 4.64</b> Permodelan saat <i>Constraction Stage</i> 1 (CS 1) ...           | 148 |
| <b>Gambar 4.65</b> Permodelan saat <i>Constraction Stage</i> 2 (CS 2) ...           | 148 |
| <b>Gambar 4.66</b> Permodelan saat <i>Constraction Stage</i> 3 (CS 3) ...           | 148 |
| <b>Gambar 4.67</b> Permodelan saat <i>Constraction Stage</i> 4 (CS 4) ...           | 148 |
| <b>Gambar 4.68</b> Permodelan saat <i>Constraction Stage</i> 5 (CS 5) ...           | 148 |
| <b>Gambar 4.73</b> Permodelan saat <i>Constraction Stage</i> 16 (CS 16)...          | 149 |



|                     |  |     |
|---------------------|--|-----|
| <b>Gambar 4.74</b>  | Permodelan saat <i>Contraction Stage</i> 18 (CS 18)        | 149 |
| <b>Gambar 4.75</b>  | Permodelan saat <i>Contraction Stage</i> 19 (CS 19)        | 150 |
| <b>Gambar 4.76</b>  | Permodelan saat <i>Contraction Stage</i> 23 (CS 23)        | 150 |
| <b>Gambar 4.77</b>  | Permodelan saat <i>Contraction Stage</i> 29 (CS 29)        | 151 |
| <b>Gambar 4.78</b>  | Permodelan saat <i>Contraction Stage</i> 31 (CS 31)        | 151 |
| <b>Gambar 4.79</b>  | Permodelan saat <i>Contraction Stage</i> 32 (CS 32)        | 152 |
| <b>Gambar 4.80</b>  | Permodelan saat <i>Contraction Stage</i> 33 (CS 33)        | 152 |
| <b>Gambar 4.81</b>  | Dimensi gelagar utama (dalam cm)                           | 157 |
| <b>Gambar 4.82</b>  | Analisa section data dan section properties                | 159 |
| <b>Gambar 4.83</b>  | Penampang <i>Box</i>                                       | 164 |
| <b>Gambar 4.84</b>  | Arah gaya dalam <i>box girder</i>                          | 168 |
| <b>Gambar 4.85</b>  | Sambungan pada sayap atau sisi atas dan bawah              | 171 |
| <b>Gambar 4.86</b>  | Sambungan pada badan atau sisi samping                     | 173 |
| <b>Gambar 4.87</b>  | Sambungan pada potongan melintang gelagar utama (dalam mm) | 174 |
| <b>Gambar 4.89</b>  | Spesifikasi teknis dan karakteristik anker                 | 180 |
| <b>Gambar 4.90</b>  | Pelat anker dan dimensi                                    | 182 |
| <b>Gambar 4.91</b>  | Struktur <i>pylon</i> (dalam cm)                           | 185 |
| <b>Gambar 4.92</b>  | Section properties penampang pylon section A-A             | 189 |
| <b>Gambar 4.93</b>  | Gambar grafik diagram interaksi <i>SpColumn</i>            | 193 |
| <b>Gambar 4.94</b>  | Desain penampang <i>section A-A</i>                        | 203 |
| <b>Gambar 4.95</b>  | Daerah pengangkuran pada <i>pylon</i>                      | 204 |
| <b>Gambar 4.96</b>  | Section properties penampang pylon section B-B             | 207 |
| <b>Gambar 4.97</b>  | Gambar grafik diagram interaksi <i>SpColumn</i>            | 208 |
| <b>Gambar 4.98</b>  | Desain penampang <i>section B-B</i>                        | 214 |
| <b>Gambar 4.99</b>  | Section properties penampang pylon section C-C             | 215 |
| <b>Gambar 4.100</b> | Gambar grafik diagram interaksi <i>SpColumn</i>            | 216 |
| <b>Gambar 4.101</b> | Desain penampang <i>section C-C</i>                        | 223 |
| <b>Gambar 4.102</b> | Detail anker VSL SSI 2000 untuk <i>pylon</i>               | 224 |
| <b>Gambar 4.103</b> | Spesifikasi anker VSL SSI 2000 untuk <i>pylon</i>          | 225 |
| <b>Gambar 4.104</b> | Sketsa dimensi anker                                       | 225 |

|   |     |
|---|-----|
| <b>Gambar 4.105</b> Penerapan piramida terpancung untuk mencari A2 dalam tumpuan berundak atau miring. .... | 226 |
| <b>Gambar 4.106</b> <i>Layout</i> penempatan perletakan.....  | 228 |
| <b>Gambar 4.107</b> Unidirectional pot bearing.....   | 229 |
| <b>Gambar 4.108</b> <i>Pot bearing</i> tampak atas.....   | 230 |
| <b>Gambar 4.110</b> Mode 1 - 16 frekuensi lentur ( $f_B$ ) dan .....  | 235 |
| <b>Gambar 4.111</b> Koefisien $C_N$ .....   | 238 |
| <b>Gambar 4.112</b> Macam-macam penampang <i>deck</i> .....   | 238 |
| <b>Gambar 4.113</b> Klasifikasi efek psikologis berdasarkan amplitudo (Walther, 1999).....                  | 240 |
| <b>Gambar 4.114</b> Klasifikasi efek psikologis berdasarkan percepatan getaran (Walther, 1999).....         | 241 |
| <b>Gambar 4.115</b> Efek ayunan dengan beda fase $\pi/2$ .....  | 242 |
| <b>Gambar 4.116</b> Efek <i>flutter</i> pada <i>mode</i> pertama .....                                      | 243 |
| <b>Gambar 4.117</b> Kecepatan kritis teoritis untuk <i>flutter</i> .....                                    | 244 |
| <b>Gambar 4.118</b> Grafik koefisien koreksi .....  | 245 |

*“ Halaman ini Sengaja Dikosongkan ”*

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1. Latar Belakang**

Jembatan merupakan suatu infrastuktur penunjang sarana transportasi yang terputus oleh adanya rintangan tanpa menutup rintangan antara lain sungai, jurang, lembah, laut, selat, jalan raya maupun jalan kereta api. Dalam perencanaan tidak hanya meninjau dari segi struktural tetapi juga memperhitungkan segi arsitektural atau nilai estetika.

Pada suatu kecamatan Trucuk, Kabupaten Bojonegoro yang dilalui oleh sungai Bengawan Solo sehingga pemerintahan Kabupaten Bojonegoro akan berencana membangun sebuah jembatan. Jembatan Trucuk akan direncanakan memiliki bentang 145m dan lebar jembatan 12,4m.

Fungsi dari pembangunan jembatan Trucuk adalah untuk mempersingkat waktu tanpa memutar lebih jauh untuk melewati Sungai Bengawan Solo. Dengan adanya jembatan Trucuk akan menghubungkan jalan arteri pada Kabupaten Bojonegoro yang mengakibatkan semakin baiknya mobilitas masyarakat. Jembatan Trucuk dapat menggunakan tipe jembatan kabel (jembatan *cable stayed*) karena dapat menambah nilai estetika jembatan tersebut dan menjadi salah satu objek pariwisata yang menarik pengunjung. Beberapa pertimbangan untuk memilih jembatan tipe *cable stayed*, antara lain :

- Defleksi yang terjadi pada jembatan tipe *cable stayed* lebih kecil daripada jembatan dengan tipe *suspended bridge*, selain itu pada tipe *cable stayed* mempunyai kekakuan struktur lebih tinggi (Troistsky, 1977).
- Untuk panjang bentang jembatan tipe *cable stayed* dapat mencapai 110m – 480m tetapi bentang terpanjang untuk jembatan *cable stayed* memiliki bentang lebih dari 1100m yaitu pada jembatan Russky, Rusia (Jani Juvani & Olli Lipponen, 2012).

- Jembatan tipe *cable stayed* mampu menopang bentang yang sangat panjang dan proses ereksinya dengan cara kantilever bebas sehingga tidak mengganggu aktifitas di bawahnya (O'Connor, 1971).
- Nilai estetika yang cukup tinggi.

Dalam proyek akhir ini jembatan Trucuk akan direncanakan sebagai jembatan *cable stayed* sehingga dengan ini akan didapatkan manfaat ialah dapat menghubungkan wilayah yang dilalui sungai. Manfaat lainnya adalah dapat menambah *icon* pada Kabupaten Bojonegoro yang didapatkan dari segi estetika dari jembatan *cable stayed*.

## 1.2. Perumusan Masalah

Dalam penyusunan rumusan masalah berdasarkan uraian latar belakang yang perlu ditinjau adalah :

1. Bagaimana cara merencanakan jembatan *cable stayed* dengan baik dan benar?
2. Bagaimana merencanakan lantai kendaraan, kabel, gelagar dan *pylon* pada jembatan?
3. Bagaimana menentukan jenis pembebanan untuk jembatan *cable stayed*?
4. Bagaimana permodelan dan menganalisa struktur jembatan pada program bantu?
5. Bagaimana mengontrol beban-beban yang bekerja pada jembatan?
6. Bagaimana hasil akhir dari perencanaan ini?

## 1.3. Batasan Masalah

Untuk membatasi dan menghindari penyimpangan pembahasan dari masalah yang diuraikan di atas, maka batasan masalah sebagai berikut :

1. Perencanaan jembatan hanya meninjau struktur saja (tanpa meninjau pembahasan analisa biaya dan manajemen konstruksi)

2. Tidak memperhitungkan kondisi waktu pelaksanaan.
3. Perhitungan sambungan dibatasi pada bagian-bagian tertentu yang dianggap mewakili secara keseluruhan.
4. Tidak memperhitungkan saluran drainase jembatan, dan perkerasan jalan.
5. Tidak merencanakan struktur bawah.

## **1.4. Tujuan**

### **1.4.1. Tujuan Umum**

Mengetahui analisa perhitungan struktur jembatan dengan tipe *cable stayed*.

### **1.4.2. Tujuan Khusus**

Tujuan dari penyusunan Tugas Akhir ini adalah :

1. Dapat mengetahui dan memahami cara merencanakan jembatan *cable stayed* dengan baik dan benar.
2. Dapat merencanakan lantai kendaraan, kabel, balok dan *pylon* pada jembatan.
3. Tahu akan pembebanan yang akan digunakan pada jembatan *cable stayed*.
4. Dapat mengetahui memodelkan dan menganalisa struktur jembatan pada program bantu.
5. Dapat memahami kontrol-kontrol apa saja yang diperlukan pada pembebanan jembatan.
6. Memperoleh hasil akhir yang berupa gambar, dimensi, dan kebutuhan tulangan maupun baut.

## **1.5. Manfaat**

Adapun manfaat dari penulisan Tugas Akhir ini adalah:

1. Bagi penulis :
  - Dapat menerapkan ilmu perencanaan jembatan.
  - Menambah pengetahuan akan perencanaan jembatan dengan menggunakan metode *cable stayed*.
  - Mengetahui lantai kendaraan yang berupa baja (*orthotopic*)

2. Bagi umum :
  - Sebagai bahan pertimbangan dalam merencanakan jembatan Trucuk sebagai *icon* baru pada Kabupaten Bojonegoro.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1. Umum**

Sistem yang digunakan jembatan *cable stayed* merupakan salah satu inovasi teknologi yang menggunakan kabel yang membuktikan semakin berkembangnya inovasi yang telah dilakukan oleh para arsitek dan para insinyur.

Dalam sistem *cable stayed* memiliki keuntungan tersendiri antara lain karakteristik-karakteristik secara struktural, efesiensi, dan pengaplikasian yang sangat luas. Selain itu juga, sistem tersebut menghadirkan suatu sistem ruang yang terdiri dari balok-balok pengaku (*stiffening girder*) dan lantai jembatan baja atau beton.

Jembatan *cable stayed* ini memiliki ciri khas sendiri dengan satu atau dua tiang (*pylon*) yang berdiri di atas *pier* (pilar) di tengah-tengah bentang. Kabel yang terpasang secara diagonal untuk *girder* untuk memberikan dukungan tambahan dan bentuk *pylon* pemikul beban utama struktu dalam hal jembatan kabel. (Olfat S, 2012).

Sistem ini dapat diterapkan pada bentang menengah, panjang bahkan sangat panjang. Sistem ini juga memberikan solusi dimana sistem struktural yang terdiri dari lantai *orthotropic* dan gelagar yang menerus ditopang oleh kabel pengaku.

#### **2.2. Tipe Kabel**

Perkuatan struktur pada umumnya bertujuan untuk Beberapa jembatan menggunakan *cable stayed* yang terdiri dari 7 buah kabel pratekan. *Cable stayed* terdiri batang baja bulat dengan diameter 26-36 mm dan ditutupi oleh pipa baja. Kabel merupakan bagian yang paling penting dalam desain jembatan *cable stayed*, karena berfungsi menyalurkan beban mati dari struktur atas (lantai jembatan) menuju ke *pylon* (tiang) (Walther, 1999). Biasanya kabel yang digunakan berupa kabel prategang yang ditempatkan pada lantai jembatan. Kabel ini dapat



mentransferkan beban mati *deck* (lantai jembatan) ke tiang (Olfat S, 2012). Ada beberapa susunan kabel yang umum digunakan. Pemilihan jenis kabel tergantung pada segi pelaksanaan, struktur, dan keuangan.

### 2.2.1. Susunan Kabel

Sistem pada susunan kabel jembatan *cable stayed* memiliki beberapa macam. Pemilihan tatanan (konfigurasi) dan jumlah kabel tersebut didasarkan atas berbagai hal antara lain panjang bentang, jenis beban, jalur atau lebar jembatan, tinggi menara, estetika. Susunan kabel merupakan pokok persoalan dalam desain jembatan *cable stayed*. Tidak hanya berefek pada kekuatan struktur jembatan tetapi juga metode pelaksanaan dan biaya. Susunan kabel berdasarkan tatanan yang digunakan dari jembatan *cable stayed* sebagai berikut :

➤ Susunan kabel berdasarkan tatanan kabel transversal

#### 1) Sistem satu bidang

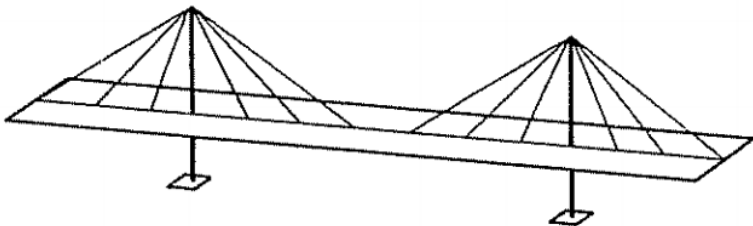
Sistem ini sangat menguntungkan dari segi estetika karena tidak terjadi kabel bersilangan yang terlihat oleh pandangan sehingga terlihat penampilan struktur yang indah (Walther, 1988). Dengan sistem satu bidang maka kabel akan diletakkan pada tengah-tengah bentang dek yang mengakibatkan torsi yang besar. Tipe jembatan ini tidak sesuai untuk jembatan dengan dua jalur (Walther, 1988). Dapat dilihat pada Gambar 2.1.

#### 2) Sistem dua bidang

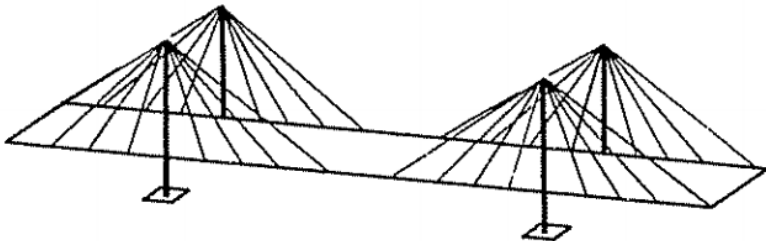
Penggantungan dengan dua bidang dapat berupa dua bidang vertikal sejajar atau bidang miring. Pada ujung balok melintang dimana akan dipasang anker kabel, kemungkinan akan terjadi kesulitan pada pendetailan konstruksi apabila terjadi berbenturan antara anker kabel pada dek dengan prategang melintang (Walther, 1988). Dapat dilihat pada Gambar 2.2.

3) Sistem tiga bidang

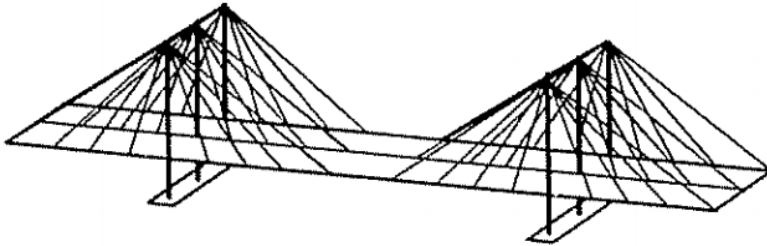
Pada jembatan yang memiliki bentang yang sangat lebar akan membutuhkan jalur lalu lintas yang banyak, akan ditemukan torsi yang besar bila menggunakan kabel satu bidang dan momen lentur yang besar pada tengah balok melintang jika menggunakan sistem dua bidang. Hal tersebut mengakibatkan gelagar yang sangat besar dan tidak ekonomis lagi. Dengan menggunakan tiga bidang dapat mengurangi torsi, momen lentur, dan gaya geser yang berlebihan (Walther, 1988). Dapat dilihat pada Gambar 2.3.



**Gambar 2.1** Sistem satu bidang (*one-plane bridge*)



**Gambar 2.2** Sistem dua bidang (*two-plane bridge*)



**Gambar 2.3** Sistem tiga bidang (*three-plane bridge*)

- Susunan kabel berdasarkan tatanan kabel longitudinal  
Tatanan kabel longitudinal sendiri masih terbagi beberapa macam bentuk sebagai berikut :

1) *Harp pattern* (pola kecapi)

Pada pola susunan *harp* (kecapi), susunan kabelnya dibuat saling berdekatan dan sejajar dengan meletakkannya pada titik yang berbeda pada tiang seperti pada Gambar 2.4. Penyusunan kabel yang sejajar memberikan penampilan yang menarik untuk susunan *harp* (kecapi) (Bernard et al 1988). Pola ini tidak efisien untuk bentang panjang dikarenakan pengaturan membutuhkan lebih banyak kabel baja, memberikan kompresi di dek dan menghasilkan momen lentur di tiang (Olfat S, 2012).

2) *Fan pattern* (pola kipas)

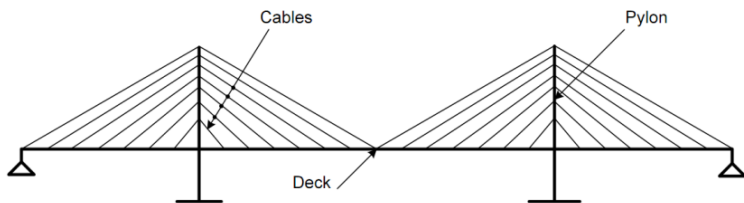
Ada beberapa literatur yang menyebut pola ini dengan pola *radial* (melingkar), namun disini disebut pola *fan* (kipas). Susunan pola ini, semua kabel dihubungkan pada satu titik di puncak tiang seperti pada Gambar 2.5. Secara relatif, tinggi kemiringan dari kabel menghasilkan potongan melintang yang lebih kecil dibandingkan dengan pola *harp* (kecapi). Selain itu, gaya horizontal kabel pada lantai jembatan pada susunan ini lebih kecil dari tipe *harp* (kecapi) (Bernard et al., 1988). Namun kesulitan yang jelas dengan perlindungan korosi kabel di kepala tiang (Gerard P, Nigel W, 2008)

3) *Semi harp pattern* (pola setengah kecapi)

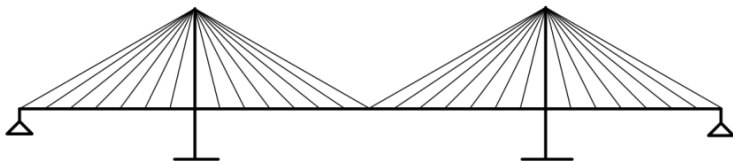
Beberapa jembatan *cable stayed* yang *modern* di dunia telah dibangun menggunakan pola *semi harp* guna efisiensi. Pola ini merupakan modifikasi dari pola *harp* dan *fan*. Seperti pada Gambar 2.6. pada susunan pola ini, kabel dihubungkan pada bagian atas tiang yang lebih tinggi dengan saling berdekatan (Bernard et al., 1988). Susunan pola *semi harp* mempunyai penampilan yang lebih baik dibandingkan *fan pattern*.

4) *Asymmetric pattern* (pola tidak simetris)

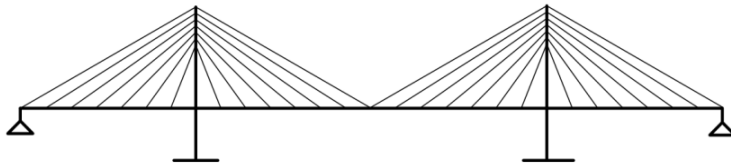
Akibat kondisi peta bumi dan jarak ruang memanjang sering kali mengharuskan untuk mendesain jembatan melewati rintangan dengan satu bentang, tanpa memungkinkan untuk menyeimbangkan struktur dengan bagian belakang yang menonjol Gambar 2.7. Pada kasus ini akan sangat membantu jika mengadopsi tali kekang dari jembatan tipe penggantung, dengan ciri pemusatan dari jangkar kabel. Pilihan dari landaian pada bagian belakang tali tergantung dari kondisi geologi dan geoteknikal (Walther, 1999).



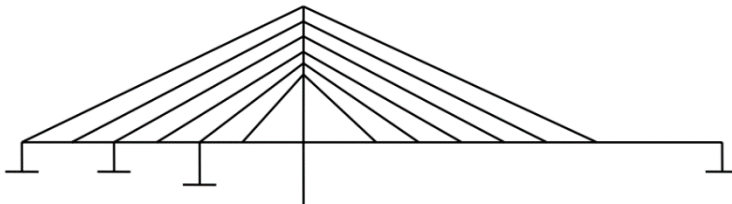
**Gambar 2.4** *Harp pattern* (pola kecapi)



**Gambar 2.5** *Fan pattern* (pola kipas)



**Gambar 2.6** *Semi Harp pattern* (pola setengah kecapi)



**Gambar 2.7** *Asymmetric pattern* (pola tidak simetris)

### 2.3. Gelagar Utama (*Girder*)

Gelagar utama pada jembatan yang paling sering digunakan adalah *stiffening truss* (digunakan untuk struktur baja) dan *solid web* (digunakan untuk struktur baja, beton, beton bertulang, maupun beton prategang) (Podolny and Scalzi, 1976). Bahannya dapat terbuat dari material yang berbeda seperti baja, beton atau komposit baja-beton. Gelagar utama yang tersusun dari *solid web* cenderung berupa *plate girder* (gelagar pelat) atau *box girder* (gelagar kotak). Pilihan dari material untuk gelagar utama tergantung dari parameter biaya. Berat dari gelagar utama mempunyai pengaruh yang signifikan pada kebutuhan kabel, tiang, dan pondasi. Berikut ini penjelasan gelagar utama yang sering digunakan :

#### 1) Gelagar baja (*steel girders*)


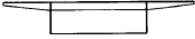
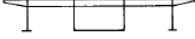
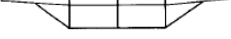
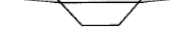


Beberapa jembatan dibangun dengan jaringan yang kaku pada *girder* utama yang dibagi menjadi dua jenis : konstruksi dengan girder I dan satu atau lebih *girder* kotak seperti pada Gambar 2.8.



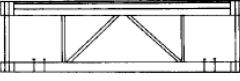
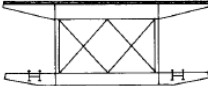
2) Gelagar rangka (*trusses girder*)

Dari beberapa dekade terakhir, kerangka (*trusses*) jarang digunakan pada pembangunan jembatan dibandingkan dengan *steel girders* dikarenakan memerlukan banyak fabrikasi dan pemeliharaan dan perlindungan terhadap korosi sulit. Contoh gelagar utama yang menggunakan *trusses* pada Gambar 2.9.

3) Gelagar beton pratekan (*prestressed concrete*)

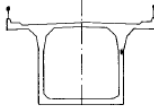
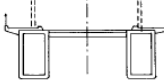
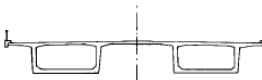
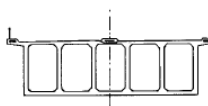
Selama beberapa tahun banyak jembatan *cable stayed* yang telah dibangun dengan gelagar beton bertulang maupun pratekan dan girder utama. Jembatan yang menggunakan bahan beton ini memiliki keunggulan dari ekonomi, kekakuan yang tinggi dan defleksi yang kecil (Troitsky, 1977), penampang yang sering digunakan seperti Gambar 2.10.

| Types of main girder |  |   |
|----------------------|--|---|
| Arrangement          |  | Deck cross - sections   |
| 1                    | Twin I girder                                      |    |
| 2                    | Single rectangular box girder                      |    |
| 3                    | Central box girder and side single web girders     |    |
| 4                    | Single twin cellular box girder and sloping struts |  |
| 5                    | Single trapezoidal box girder                      |  |
| 6                    | Twin rectangular box girder                        |  |
| 7                    | Twin trapezoidal box girder                        |  |

| Types of stiffening truss        |  |
|----------------------------------|--|
| Type of bridge                   | Deck cross-section   |
| 1 Highway                        |     |
| 2 Highway and railroad (project) |   |
| 3 Highway and railroad (project) |  |
| 4 Highway and railroad (project) |  |

**Gambar 2.8** Macam macam *steel girders* (Troitsky, 1977)

**Gambar 2.9** Macam macam *trusses* (Troitsky, 1977)

| Type of girder  | Deck cross - section  |
|---|---|
| 1<br>Single box girder<br>( Wadi Kuf Bridge, Libya )        |  |
| 2<br>Twin box girders<br>( River Parana Bridge, Argentina ) |  |
| 3<br>Twin box girders<br>( River Waal Bridge, Holland )     |  |
| 4<br>Multiple box girder<br>( Polcevera Viaduct, Italy )    |  |

**Gambar 2.10** Macam macam *concrete girders*  
(Troitsky, 1977)

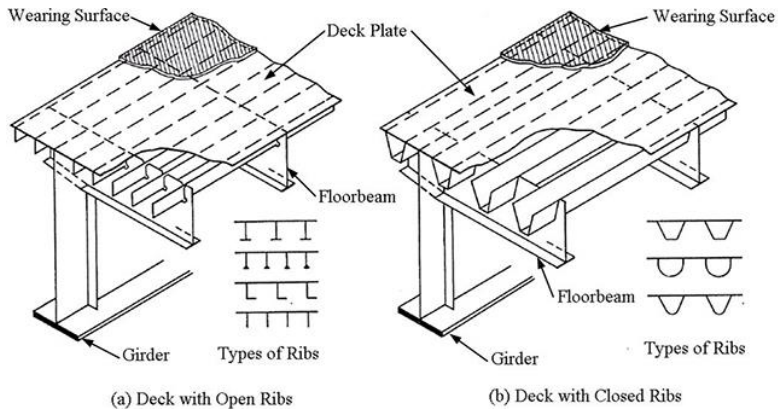
#### 2.4. *Deck* (Lantai Kendaraan)

Lantai kendaraan (*deck*) merupakan lantai yang diperuntukkan kendaraan melintasi di atas permukaan jembatan *cable stayed*. *Deck* dibagi beberapa berdasarkan bahan materialnya sebagai berikut :

##### 1. *Deck* baja

Keuntungan dari *deck* baja ialah berat sendiri yang tidak terlalu besar. Dalam penelitian lantai kendaraan yang lebih efektif, kemanjuan besar telah dibuat dengan perkembangan dek baja *orthotropic* (Troitsky,1977). Jembatan dengan dek baja *orthotropic* biasanya disebut sebagai jembatan *orthotropic* yang bekerja pelat pengaku baja yang mendukung beban roda kendaraan daripada sebuah pelat beton bertulang yang digunakan pada konstruksi jembatan konvensional (Heins, 2000). Pelat

*orthotropic* merupakan pelat baja monolit dengan rusuk-rusuk (*ribs*) yang sejajar, defleksi *orthotropic* mencapai  $1/6$  dari defleksi pelat biasa (O'Connor, 1971).



**Gambar 2.11** *Orthotropic deck* dengan sistem (a) *open ribs*; (b) *close ribs* (Heins, 2000)

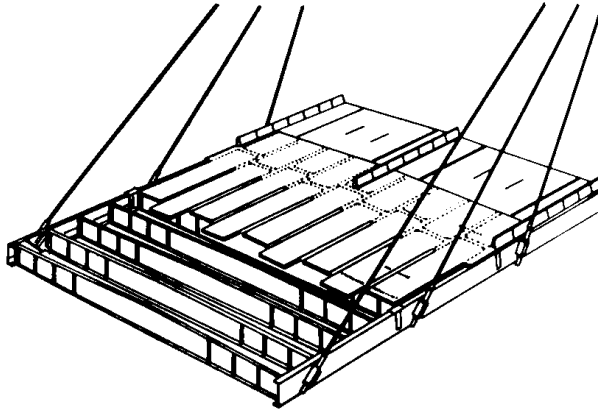
## 2. *Deck* beton

Dalam pelaksanaan ada 2 metode konstruksi *deck* beton antara lain dicor ditempat (*cast in-situ*) dan pracetak (*precast*). Dengan metode konstruksi tersebut, *deck* dicor monolit dengan gelagar utama dimana tidak menjadikan profil *massive*.

## 3. *Deck* komposit

*Deck* komposit ialah gabungan dari beton dengan baja secara monolit dimana kedua elemen bekerja sama saat beban bekerja. Dengan digabungnya dua elemen tersebut mengakibatkan menurunnya berat sendiri dan kemudahan saat pendirian bagian-bagian baja (Walther, 1999). Pada *deck* komposit dimana pelat beton akan menyalurkan gaya tekan aksial. Pelat beton dihubungkan pada gelagar baja dengan *shear stud*.

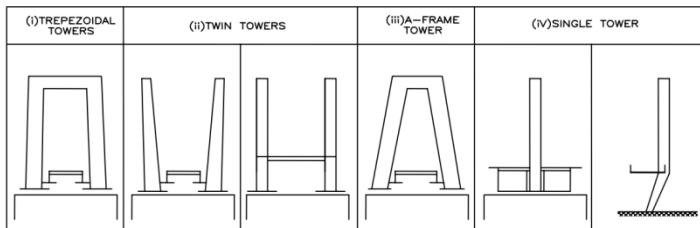




**Gambar 2.12** Gelagar komposit pada jembatan cable stayed (Brockenbrough and Merrit, 2011)

## 2.5. *Pylon* (tiang)

*Pylon* (tiang) jembatan *cable stayed* berfungsi untuk menahan beban mati dan hidup yang bekerja pada struktur, tiang dapat dibuat berongga dari konstruksi baja maupun beton. Ada beberapa bentuk tiang yang berbeda satu sama lain seperti, *single pylon* (tiang tunggal), *twin pylon* (tiang kembar), *A-Frame pylon* (tiang berbentuk A), dan portal. Bentuk-bentuk tersebut dipilih berdasarkan susunan kabel, keindahan, bentang memanjang, kebutuhan perencanaan, pertimbangan biaya, dan parameter lainnya. Berikut ilustrasi susunan melintang jembatan *cable stayed* :

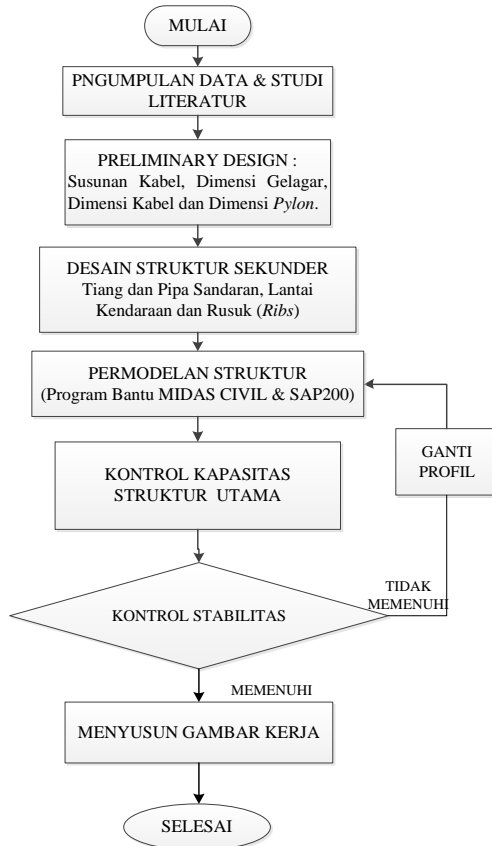


**Gambar 2.13** Tipe bidang *pylon* (tiang) (Troitsky, 1988)

## BAB III METODOLOGI

### 3.1. Bagan Alir Metodologi

Bagan Alir Metodologi pengerjaan tugas akhir ini dapat



**Gambar 3.1** Bagan Alir Metodologi Pengerjaan Tugas Akhir

### 3.2. Metodologi Pengerjaan Tugas Akhir

#### 3.2.1. Studi Literatur

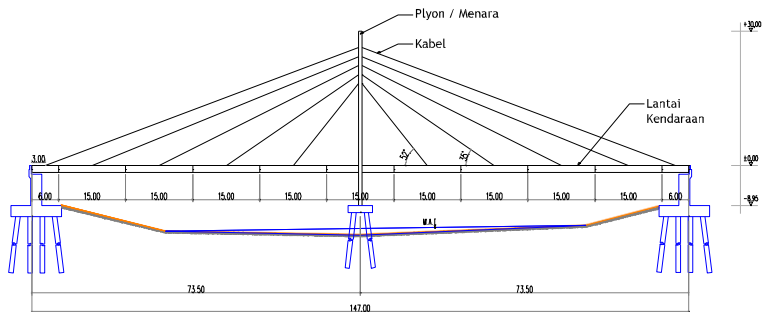
Dalam studi literature penulis menggunakan beberapa referensi terkait, beberapa jurnal, buku, peraturan maupun artikel di internet. Untuk lebih jelasnya berikut rinciannya :

1. E-Book - *Cable Stayed Bridges-Thomas Telford Publishing* (1999) - Rene Walther B. Houriet W. Isler P.Mota
2. E-Book - *Cable Supported Bridges Concept and Design* (1983) - Niels J. Gimsing
3. E-Book - *Cable Supported Bridges Concept and Design, Third Edition* (2012) - Niels J. Gimsing, Christos T. Georgakis(auth.)
4. E-Book - *Cable-Stayed Bridges Theory and Design 2nd Edition*(1988)- M. S. Troitsky.
5. <https://fadlysutrisno.wordpress.com/2010/07/17/jembatan-cable-stayed/>
6. [http://www.academia.edu/11194642/BAB\\_II\\_Desain\\_Cable\\_Stayed](http://www.academia.edu/11194642/BAB_II_Desain_Cable_Stayed)

#### 3.2.2. Pengumpulan Data

Data perencanaan yang dibutuhkan antara lain :

1. Nama dan lokasi : Jembatan Trucuk – Bojonegoro
2. Bentang yang direncanakan : 147 m
3. Lebar yang direncanakan : 7 m
4. Tinggi bebas : minimal 3,5 m
5. Material utama yang direncanakan :
  - Struktur atas berupa beton untuk lantai kendaraan dan sedangkan gelagar akan menggunakan plat girder
  - Tiang terdiri dari kolom ganda yang terbuat dari beton



**Gambar 3.2** Tampak Memanjang Jembatan Trucuk

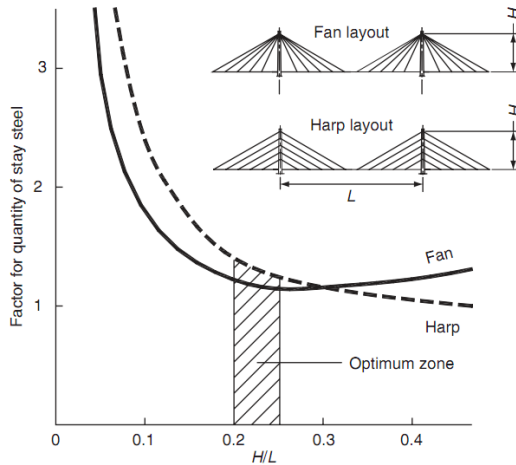
### 3.3. Preliminary Design

#### 3.3.1. Susunan Kabel

Susunan kabel untuk arah melintang seperti pada Gambar 2.2 berupa *double plane system*, sedangkan untuk susunan arah memanjang seperti pada Gambar 2.6 berupa *semi-harp pattern* yang merupakan pengembangan dari *fan pattern* dan *harp pattern*. Susunan ini lebih menguntungkan karena desain *pylon* menjadi tidak terlalu tinggi dan juga pemasangan kabel pada *pylon* tidak serumit sistem *fan pattern* karena terdapat ruang yang cukup untuk pengangkeran dengan jarak antara 1,5m – 2,5m (Parke and Huson, 2008). Berikut penjelasan untuk desain :

- Jarak kabel pada gelagar :
  - Jika berupa gelagar baja maka jaraknya (15m s.d. 25m) (Walther dkk, 1999)
  - Jika berupa gelagar beton maka jaraknya (5m s.d. 10m) (Walther dkk, 1999)
- Tinggi Pylon (h)
 

Perencanaan untuk tinggi *pylon* dapat dilakukan dengan membandingkan antara tinggi rencana (H) dengan panjang bentang *deck* (L) dengan range nilai 0,2 – 0,25 (Parke and Huson, 2008), lihat Gambar 3.3.



**Gambar 3.3** Tinggi optimum pylon

### 3.3.2. Dimensi Gelagar

#### 1. Gelagar Utama *Rectangular Twin Box Girder*

Menurut Podolny (1976) dalam bukunya “*Contruction & Design of Cable-Stayed Bridges*”, nilai perbandingan antara tinggi gelagar dengan bentang jembatan bervariasi antara (1/40) s.d. (1/100).

$$\text{Tinggi box girder (h)} = \frac{1}{40}L \geq h \geq \frac{1}{100}L$$

#### 2. Rusuk (*ribs*)

Dimensi rusuk (*ribs*) menggunakan persamaan sebagai berikut ini :

$$\text{Tinggi ribs (d)} \geq \frac{L}{12}$$

#### 3. Gelagar melintang

Dimensi rusuk (*ribs*) menggunakan persamaan sebagai berikut ini :

$$\text{Tinggi gelagar melintang (d)} \geq \frac{L}{9}$$

4. Gelagar kantilever

Dimensi rusuk (*ribs*) menggunakan persamaan sebagai berikut ini :

$$\text{Tinggi gelagar melintang (d)} \geq \frac{L}{6}$$

### 3.3.3. Dimensi Kabel

Kabel digunakan dalam satu helai terdiri dari 7 kawat, untuk dimensi awal kabel dapat diperkirakan menggunakan persamaan berikut :

$$N_{g,i} = R_{g,i} / \sin \alpha_i$$

Dengan pengertian :

$N_{g,i}$  : gaya kabel utama

$R_{g,i}$  : reaksi perletakan bentang sederhana akibat berat sendiri dan beban tetap

$\alpha_i$  : sudut kemiringan kabel terhadap sumbu memanjang jembatan.

$$\sigma_g = \sigma_{ijin} [g / (g + q)]$$

Dimana :

$\sigma_g$  : tegangan ijin kabel akibat berat sendiri dan beban tetap

$g$  : berat sendiri dan beban tetap

$q$  : beban hidup merata

$\sigma_{ijin}$  : tegangan ijin kabel akibat beban total = 0,45  $\sigma_{putus}$  kabel.

$$A_i = \alpha N_{g,i} / \sigma_g$$

Dengan pengertian :

$A_i$  : luas kabel utama

$\alpha$  : fraksi beban yang dipikul oleh kabel  
( $0 < \alpha < 1$ ), 1 bila kabel sangat kaku,  
0 bila gelagar sangat kaku

$N_{g,i}$  : gaya kabel utama

Analisa jembatan *cable stayed* didasarkan pada analisa elastisitas baja. Asumsi awal yang digunakan adalah ketika menerima beban mati kabel tetap akan terlihat melengkung, oleh karena lengkungan akibat beban mati modulus elastis efektif ( $E_{eff}$ ) mempunyai nilai yang lebih kecil dari modulus elastic kabel baja ( $E_0$ ). Jika kabel disimulasikan sebagai elemen sebenarnya dalam komputer maka akan didapat nilai ( $E_{eff}$ ) < ( $E_0$ ), hal ini seharusnya digunakan terutama untuk kondisi kabel dengan bentang yang sangat panjang. Nilai ( $E_{eff}$ ) selain dipengaruhi oleh panjang dan gaya juga oleh berat sendiri kabel. Modulus elastis efektif dapat direncanakan dengan formula berikut (Walther dkk, 1999).

$$E_{eff} = E_0 \frac{1}{1 + \frac{\gamma^2 L_h^2 E_0}{12 \sigma^3}}$$

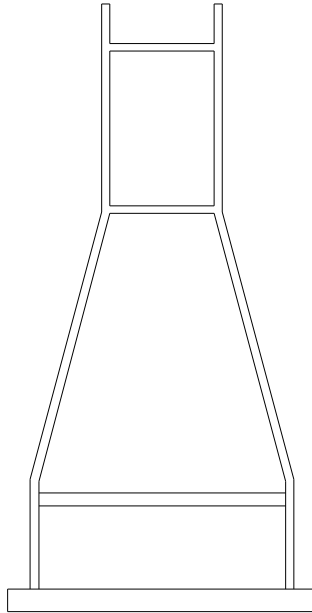
Dimana :

- $E_{eff}$  : efektif modulus elastis (N/mm<sup>2</sup>)
- $E_0$  : modulus elastis dari material kabel tetap (N/mm<sup>2</sup>)
- $\gamma$  : berat jenis dari material kabel (N/mm<sup>3</sup>)
- $L_h$  : panjang kabel yang direncanakan (jarak titik gantung kabel) (mm)
- $\sigma$  : tegangan tarik dalam kabel (N/mm<sup>2</sup>)

### 3.3.4. Dimensi Pylon

*Preliminary design pylon* menggunakan perkiraan berdasarkan nilai gaya aksial tekan pada satu sisi kolom vertikal *pylon*.

1. Material : Beton bertulang
2.  $f'_c$  : 50 Mpa
3.  $f_y$  : 400 Mpa
4. Bentuk : *Pylon Twin Tower* dengan posisi kabel *two vertical planes system*



**Gambar 3.4** Bentuk *pylon* menggunakan bentuk *Twin Tower*

### **3.4. Permodelan Struktur**

Pada permodelan struktur ini dimana berkaitan dengan pembebanan pada struktur dimana terdapat beban statis, beban dinamis dan pembebanan pada kabel serta metode pelaksanaan.

#### **3.4.1. Pembebanan Statis**

Beban statis terdiri dari :

1. Beban tetap
  - a) Berat sendiri

Berat sendiri merupakan berat bagian dan elemen-elemen struktur lain yang dipikul. (SNI 1725:2016 Pasal 7.2.)



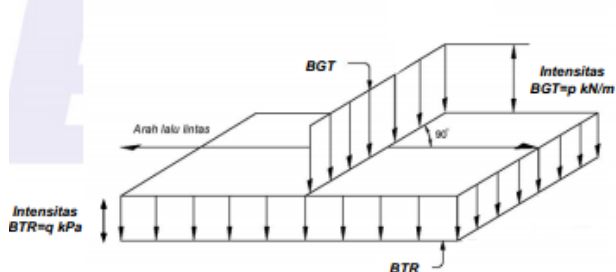
b) Beban mati tambahan

Beban mati tambahan merupakan berat seluruh bahan yang membentuk suatu beban pada struktur yang merupakan elemen non struktural, dan besarnya dapat berubah selama umur jembatan. (SNI 1725:2016 Pasal 7.3.)

2. Beban Lalu lintas

1) Beban lajur “D” (SNI 1725:2016 Pasal 8.3.)

Beban lajur “D” terdiri dari beban tersebar merata (BTR/UDL) yang digabung dengan beban garis (BGT/KEL), lihat Gambar 3.5 berikut :



**Gambar 3.5** Beban lajur “D”  
(SNI 1725:2016, Gambar 24)

Beban terbagi rata (BTR/UDL) mempunyai intensitas  $q$  kPa, dengan besarnya  $q$  tergantung pada panjang total :

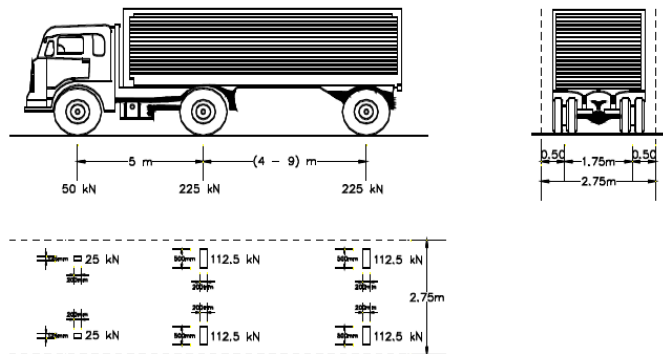
$$L \leq 30m : q = 9,0\ kPa$$

$$L \geq 30m : q = 9,0\ (0,5 + 15/L)\ kPa$$

Panjang yang dibebankan  $L$  adalah panjang total BTR (UDL) yang bekerja pada jembatan. Beban garis (BGT/KEL) dengan intensitas  $p$  KN/m harus ditempatkan tegak lurus arah lalu-lintas pada jembatan. Besarnya intensitas  $p$  adalah 49,0 kN/m.

## 2) Beban truk “T”

Pembebanan truk “T” terdiri dari kendaraan truk semi trailer yang mempunyai susunan dan berat as seperti pada Gambar 3.6. Berat sendiri dari masing-masing as disebar menjadi dua beban merata sama besar yang merupakan bidang kontak antara roda dengan permukaan lantai. Jarak antara dua as tersebut antara 4,0 m sampai dengan 9,0m, hal ini dikarenakan untuk mendapatkan pengaruh terbesar pada arah memanjang jembatan. Kendaraan truk “T” ini harus ditempatkan di tengah-tengah lajur lalu lintas rencana.



**Gambar 3.6** Beban Truk “T” (500 kN)  
(SNI 1725:2016, Gambar 26)

## 3. Beban angin

### a) Beban angin pada struktur

Berdasarkan SNI 1725-2016 pasal 9.6.1, tekanan angin horizontal untuk bagian jembatan dengan elevasi lebih tinggi dari 10000 mm di atas permukaan tanah atau permukaan air maka kecepatan angin rencana,  $V_{DZ}$ , sebagai berikut

$$V_{DZ} = 2,5 \cdot V_0 \left( \frac{V_{10}}{V_B} \right) \ln \left( \frac{Z}{Z_0} \right)$$

Dimana :

$V_{DZ}$  = kecepatan angin rencana pada elevasi rencana, Z (km/jam)

$V_{10}$  = kecepatan angin pada elevasi 10000 mm dia atas permukaan tanahatau di atas permukaan air rencana (km/jam)

$V_B$  = kecepatan angin rencana yaitu 90 hingga 126 km/jam pada elevasi 10000 mm yang akan menghasilkan tekanan

Z = elevasi struktur diukur dari permukaan tanah atau dari permukaan air dimana beban angin dihitung ( $Z > 10000$  mm)

$V_0$  = kecepatan gesekan angin, yang merupakan karakteristik meteorologi, ditentukan dalam Tabel 7.1

$Z_0$  = panjang gesekan di hulu jembatan, yang merupakan karakteristik meteorologi ditentukan dalam Tabel 7.1

$V_{10}$  dapat diperoleh dari :

- Grafik kecepatan angin dasar untuk berbagai periode ulang
- Survey angin pada lokasi jembatan
- Jika tidak ada data yang lebih baik maka perencana dapat mengasumsikan bahwa  $V_{10} = V_B = 90$  s/d 126 km/jam

**Tabel 3.1** Nilai  $V_0$  dan  $Z_0$  untuk variasi kondisi permukaan hulu

| Kondisi        | Lahan Terbuka | Sub Urban | Kota |
|----------------|---------------|-----------|------|
| $V_0$ (km/jam) | 13,2          | 17,6      | 19,3 |
| $Z_0$ (mm)     | 70            | 1000      | 2500 |

Dengan mengetahui kecepatan angin yang bekerja, dapat ditentukan beban angin pada struktur dimana tekanan angin rencana dalam MPa dengan menggunakan persamaan

$$P_D = P_B \left( \frac{V_{DZ}}{V_B} \right)^2$$

Dimana :

$P_B$  = tekanan angin dasar yang ditentukan dalam Tabel 7.2

**Tabel 3.2** Tekanan angin dasar

| Komponen bangunan atas        | Angin tekan (MPa) | Angin hisap (MPa) |
|-------------------------------|-------------------|-------------------|
| Rangka, kolom, dan pelengkung | 0,0024            | 0,0012            |
| Balok                         | 0,0024            | N/A               |
| Permukaan datar               | 0,0019            | N/A               |

b) Beban angin pada kendaraan

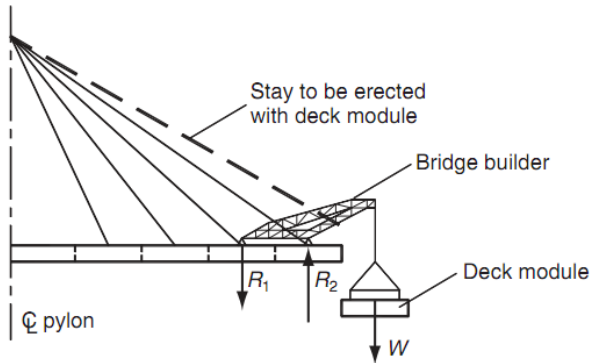
Beban angin juga akan dibebankan pada kendaraan yang melintas ( $EW_i$ ) dimana telah diatur di SNI 1725-2016 pasal 9.6.1.2 dengan asumsi sebagai tekanan yang menerus sebesar 1,46 N/mm yang bekerja tegak lurus dan bekerja diatas 1800mm diatas permukaan jalan.

### 3.4.2. Pembebanan Dinamis

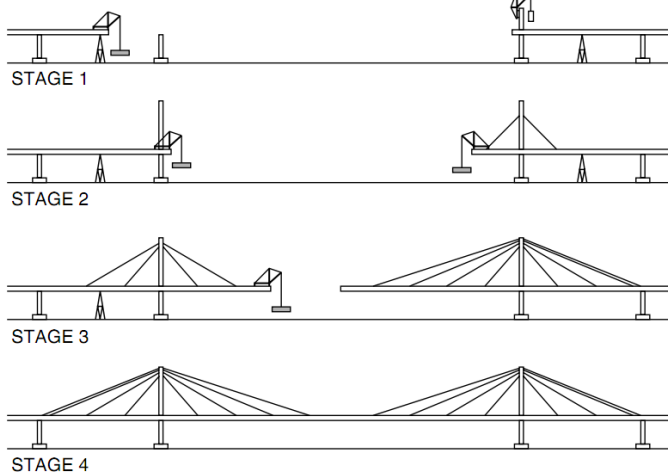
Dalam analisa beban gempa sesuai dengan RSNI2 2833:201X dimana akan ditinjau secara analisa dinamis 3 dimensi. Fungsi *response spectrum* yang untuk daerah Kabupaten Bojonegoro menggunakan peta gempa untuk probabilitas 7% dalam 75 tahun atau memiliki periode ulang 1000 tahun.

### 3.4.3. Metode Pelaksanaan

Metode pelaksanaan dilakukan dengan cara kantilever, karena pada kondisi lapangan tidak memungkinkan untuk dipasang perancah (penyokong sementara), lihat Gambar 3.7 dan 3.8.



**Gambar 3.7** Metode pelaksanaan kantilever (Parke and Huson, 2008).



**Gambar 3.8** Metode pelaksanaan kantilever (Gimsing dan T. Christos , 2012).

Didalam empat tahap yang ditunjukkan, pekerjaan yang dilakukan :

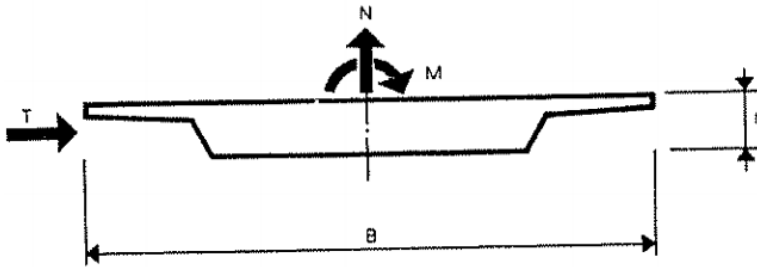
- Stage 1 : Penarikan dek pada sisi bentang menggunakan pendukung sementara, diikuti dengan penarikan dari *pylon* ketika mencapai pilar utama.
- Stage 2 : Satu sisi kantilever bebas dari bentang utama dek dengan pemasangan kedua bentang dan bentang sisi kabel tetap yang sesuai sebagai poin angkur dalam bentang utama yang dicapai
- Stage 3 : Setelah selesai setengah jembatan, kantilever dari setengah lainnya berlangsung
- Stage 4 : Menutup jembatan di tengah bentang utama

### 3.5. Kontrol Stabilitas

Kontrol stabilitas yang perlu dilakukan adalah akibat aerodinamis akibat angin pada jembatan *cable stayed* perlu dianalisa karena salah penyebab terjadinya kegagalan struktur. Analisa stabilitas pada aerodinamis meliputi *vortex-shedding* (tumpahan pusaran angin) dan *flutter* (efek ayunan). Akan tetapi untuk mengetahui efek angin yang bekerja, perlunya analisa tersebut menggunakan model pada terowongan angin (*wind tunnel*).

Nilai gaya – gaya tersebut bergantung pada beberapa faktor berikut :

1. Tekanan angin  $q$
2. Bentuk penampang (koefisien  $C_T$ ,  $C_N$ , dan  $C_M$ )
3. Sudut datang angin pada rantai kendaraan,  $\alpha$



**Gambar 3.9** Efek angin  
(Walther dkk, 1999).

$$T = C_T \cdot q \cdot h \cdot l$$

$$N = C_N \cdot q \cdot h \cdot l$$

$$M = C_M \cdot q \cdot h \cdot l$$

Dimana :

$l$  = panjang struktur

$h$  = tinggi total lantai kendaraan

$B$  = lebar lantai kendaraan

Pada kecepatan angin tertentu yang disebut dengan kecepatan kritis, akan terjadi pusaran angin (vortex-shedding). Untuk memperoleh nilai percepatan kritis tersebut, digunakan persamaan angka Strouhal ( $S$ ).

$$S = \frac{f_B \cdot h}{V} \quad (\text{Walther, 1999, 7.3.2 – 7.11})$$

Dimana :

$S$  = angka Strouhal

$f_B$  = frekwensi alami lentur balok

$h$  = tinggi lantai kendaraan

$V$  = kecepatan angin yang dihitung berdasarkan angka Strouhal

Selanjutnya dilakukan evaluasi efek pusaran dengan angka *Reynold* ( $Re$ ). Akibat kecepatan angin yang bekerja besarnya

angka *Reynold* harus memenuhi persyaratan, nilai *Re* harus berkisar antara  $10^5 - 10^7$ . Berikut persamaan untuk angka *Reynold*.

$$Re = \frac{VB}{\bar{\nu}} \text{ (Walther, 1999, 7.3.2 – 7.10)}$$

Dimana :

*Re* = angka *Reynold*

*V* = kecepatan angin yang dihitung berdasarkan angka *Strouhal*

*B* = lebar lantai kendaraan

$\bar{\nu}$  = viskositas kinematik udara ( $0,15 \text{ cm}^2/\text{dt}$ )

Akibat adanya terpaan angin, akan terjadi gaya angkat (*uplift*) yang besarnya dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$Fo = \rho \frac{V^2}{2} Ch \text{ (Walther, 1999, 7.3.2 – 7.13)}$$

Dimana :

*Fo* = gaya angkat

$\rho$  = berat volume udara ( $1,3 \text{ kg/m}^3$ )

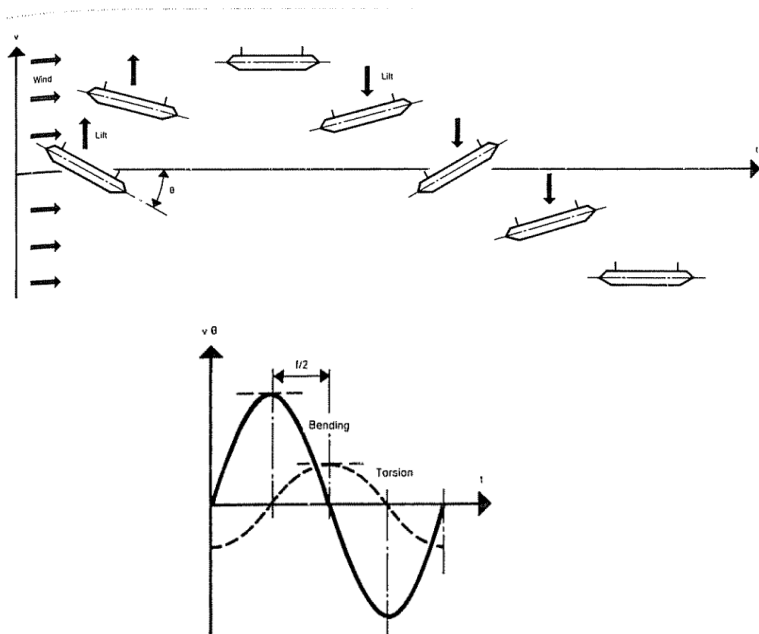
*V* = kecepatan angin yang dihitung berdasarkan angka *Strouhal*

*C* = koefisien gaya angkat lantai kendaraan

*h* = tinggi lantai kendaraan

Fenomena efek ayunan yang terjadi pada kecepatan kritis akan menimbulkan ayunan lentur ( $f_B$ ) dan ayunan torsi ( $f_T$ ), yang harus dihindari adalah nilai amplitudo akibat ayunan lentur dan ayunan torsi tidak terjadi secara bersamaan. Maka dari itu desain yang ideal, nilai perbandingan dari keduanya sebaiknya memiliki perbedaan fase sebesar  $\pi/2$  atau berkisar 1,57 detik. Untuk lebih jelasnya lihat ilustrasi pada Gambar 3.10 berikut ini.





**Gambar 3.10** Efek ayunan dengan beda fase  $\pi/2$  (Walther, 1999).

### 3.6. Gambar Teknik

Tahapan akhir dari perencanaan berupa penyusunan gambar kerja, dalam pengerjaannya digunakan program bantu AutoCAD. Susunan gambar kerja berupa :

- Denah jembatan
- Potongan melintang dan memanjang
- Detail Penulangan dan sambungan
- Konfigurasi kabel
- Struktur utama

## BAB IV PEMBAHASAN

### 4.1. *Preliminary Design*

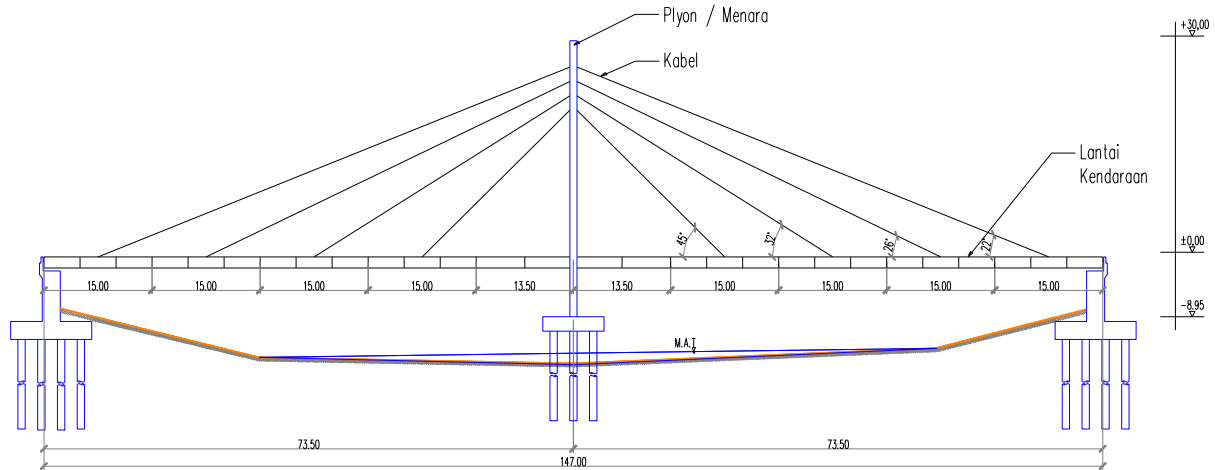
Sebelum melakukan perhitungan struktur sekunder perlu dilakukan perkiraan dimensi awal berdasarkan referensi yang diperlukan dengan menyesuaikan pada parameter yang ada. Dimensi awal yang perlu diperkirakan antara lain meliputi susunan kabel, dimensi gelagar, kabel dan *pylon*, yang kemudian akan digunakan sebagai data awal dalam analisa struktur. Jika ternyata dalam analisa diketahui kemampuan struktur tidak memenuhi syarat, maka perlu dilakukan perubahan pada parameter yang telah ditentukan.

#### 4.1.1. Konfigurasi Susunan Kabel

Konfigurasi susunan kabel pada arah melintang berupa *Double Planes System*, sedangkan untuk arah memanjang berupa *Semi Harp Pattern*, lihat Gambar 4.1.

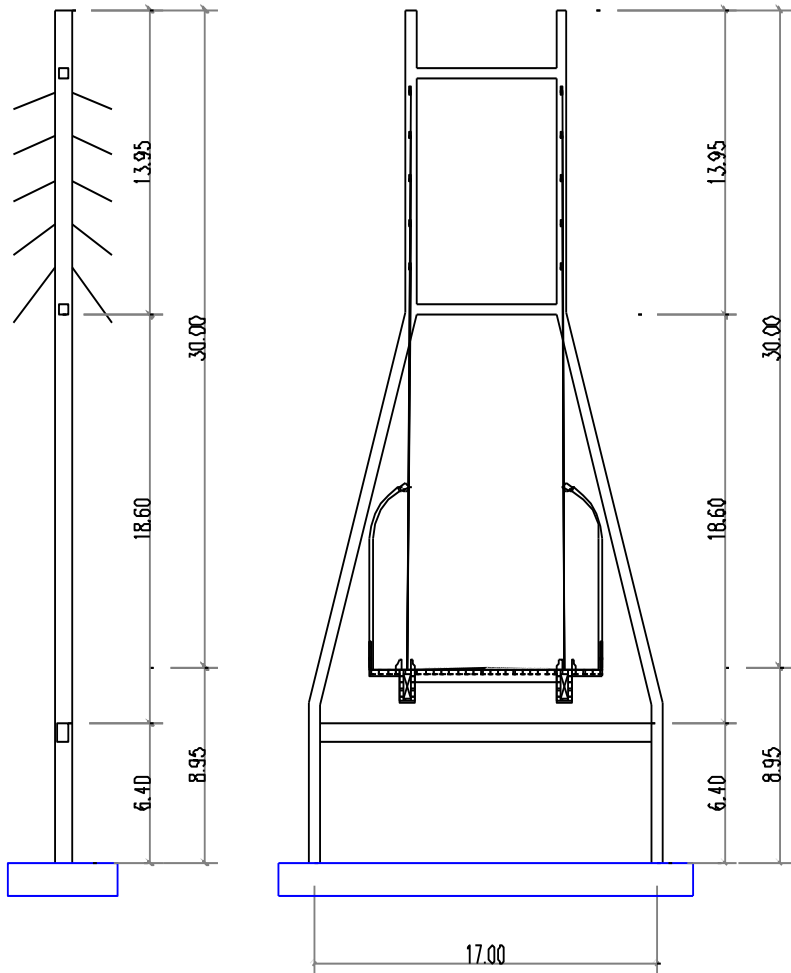
- 1) Jarak kabel pada gelagar menurut Walther dkk. (1999) :  
Dek beton (5 m – 10m)  
Dek baja (15 m – 25 m)  
Pada desain ini dipakai jarak kabel pada gelagar 15 m.
- 2) Tinggi *pylon* (h), menurut Parke dan Hewson (2008) (pada buku *ICE manual of bridge engineering* halaman 377) dapat diperkirakan dengan perbandingan antara tinggi rencana (H) dengan panjang bentang utama (L) dengan kisaran nilai 0,2 – 0,25.

$$\begin{aligned}\text{Direncanakan (H/L)} &= 0,25 \\ L &= 73,5 \text{ m} \\ \text{Maka diperoleh H} &= 73,5 \text{ m} \cdot 0,25 \\ &= 18,75 \text{ m} \approx 30 \text{ m}.\end{aligned}$$



**Gambar 4.1** Susunan kabel arah memanjang berupa *semi-harp pattern* (dalam meter)

Berikut ilustrasi susunan kabel arah melintang jembatan, dapat dilihat pada Gambar 4.2.



**Gambar 4.2** Susunan kabel arah melintang berupa *double planes system* (dalam meter)

#### 4.1.2. Dimensi Gelagar

##### 1) Gelagar Utama *Rectangular Twin Box Girder*

Menurut Podolny (1976) dalam bukunya “*Contruction & Design of Cable-Stayed Bridges*”, nilai perbandingan antara tinggi gelagar dengan bentang jembatan bervariasi antara (1/40) s.d. (1/100).

$$\begin{aligned}
 \text{Tinggi box girder (h)} &= \frac{1}{40} L \geq h \geq \frac{1}{100} L \\
 &= \frac{1}{40} 73.5\text{m} \geq h \geq \frac{1}{100} 73.5\text{m} \\
 &= 1.84\text{m} \geq h \geq 0.2\text{m}
 \end{aligned}$$

Dalam desain ini, nilai tinggi *box girder* direncanakan dengan perbandingan (L/50).

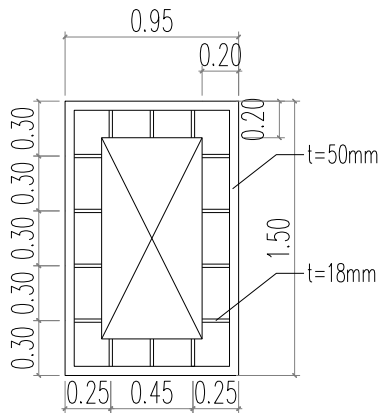
$$\begin{aligned}
 h &= \frac{1}{50} 73.5\text{m} \\
 &= 1.47\text{ m} \approx 1,5\text{ m}
 \end{aligned}$$

Dipakai perkiraan awal dimensi *box girder* :

$$h = 1,5\text{ m}$$

$$b = 0,95\text{ m}$$

untuk lebih jelasnya lihat Gambar 4.3



**Gambar 4.3** Preliminary *box girder* (dalam meter)

2) Rusuk (*rib*)

Jarak antar balok melintang direncanakan sebesar 3,00 m, dengan gelagar melintang berupa profil WF.

$$\begin{aligned}\text{Tinggi ribs (d)} &\geq \frac{L}{12} \\ &\geq \frac{3,0\text{m}}{12} = 0,25\text{m}\end{aligned}$$

Direncanakan menggunakan profil WF 300.150.6,5.9

$$d = 300 \text{ mm} \quad tw = 6,5 \text{ mm}$$

$$bf = 150 \text{ mm} \quad tf = 9 \text{ mm}$$

$$r = 13 \text{ mm} \quad w = 36,7 \text{ kg/m}$$

sifat mekanis baja struktural

$$BJ = 41$$

$$f_u = 410 \text{ MPa}$$

$$f_y = 250 \text{ MPa}$$

## 3) Gelagar melintang direncanakan menggunakan profil WF

Tinggi balok ( $d \geq (L/9)$ ), dimana  $L$  = panjang balok.

$$\begin{aligned}d &\geq \frac{L}{9} \\ &\geq \frac{7\text{m}}{9} = 0,77 \text{ m}\end{aligned}$$

Direncanakan menggunakan profil WF 800.300.14.26

$$d = 800 \text{ mm} \quad tw = 14 \text{ mm}$$

$$bf = 300 \text{ mm} \quad tf = 26 \text{ mm}$$

$$r = 28 \text{ mm} \quad w = 210 \text{ kg/m}$$

sifat mekanis baja struktural

$$BJ = 41$$

$$f_u = 410 \text{ MPa}$$

$$f_y = 250 \text{ MPa}$$

- 4) Gelagar kantilever direncanakan menggunakan profil WF  
Tinggi balok ( $d \geq (L/6)$ ), dimana  $L$  = panjang balok.

$$d \geq \frac{L}{6}$$

$$\geq \frac{1,5\text{m}}{6} = 0,25 \text{ m}$$

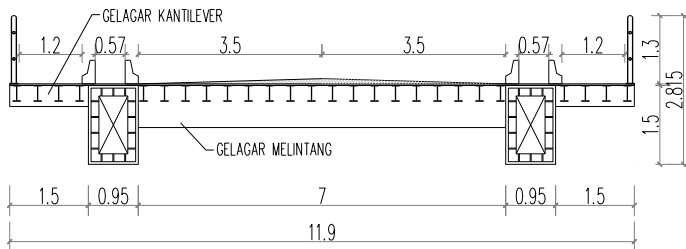
Direncanakan menggunakan profil WF 400.200.8.13

|      |                    |      |                     |
|------|--------------------|------|---------------------|
| $d$  | $= 400 \text{ mm}$ | $tw$ | $= 8 \text{ mm}$    |
| $bf$ | $= 200 \text{ mm}$ | $tf$ | $= 13 \text{ mm}$   |
| $r$  | $= 16 \text{ mm}$  | $w$  | $= 66 \text{ kg/m}$ |

sifat mekanis baja struktural

|       |                     |
|-------|---------------------|
| $BJ$  | $= 41$              |
| $f_u$ | $= 410 \text{ MPa}$ |
| $f_y$ | $= 250 \text{ MPa}$ |

Berikut ilustrasi penampang melintang dek dapat dilihat pada Gambar 4.4.



**Gambar 4.4** Penampang melintang dek (dalam meter)

#### 4.1.3. Dimensi Kabel dan Anker

Menurut RSNI T-03-2005 pasal 12.6 kabel pemikul utama yang dipergunakan untuk struktur-struktur jembatan kabel dan jembatan gantung harus dibuat dari material mutu tinggi dengan kuat tarik minimum  $1800 \text{ N/mm}^2$ .

Ada dua jenis kabel paralel *VSL 7-wire strand* yang dapat digunakan untuk jembatan kabel, lihat tabel 4.1

**Tabel 4.1** Jenis Kabel dan Anker

| Standard  | ASTM A 416-06<br>Grade 270           | Euronorme 138-3 |
|---|--------------------------------------|-----------------|
| Ø (mm)  | 15,2                                 | 15,7            |
| A <sub>s</sub> (mm <sup>2</sup> )                           | 140                                  | 150             |
| f <sub>u</sub> (f <sub>ijin</sub> =0,7f <sub>u</sub> )(MPa) | 1860 (1302)                          | 1770 (1239)     |
| Ukuran anker  | 7, 12, 19, 31, 37, 61, dan 91 strand |                 |

Dalam desain ini digunakan kabel tipe ASTM A 416-06 Grade 270.

$$N_{g,i} = R_{gi} \cdot \cos \alpha$$

Dimana :

$$N_{g,i} = \text{gaya kabel utama}$$

$$R_{g,i} = (DL + LL)$$

$$\alpha_i = \text{sudut kemiringan kabel}$$

### ***Dead Load (DL)***

Berat gelagar *box* pada bentang 15 m

$$\begin{aligned} W &= 2. A_{box} \text{ (didapat dari MIDAS). BJ baja} \\ &= 2. 0,263\text{m}^2. 77\text{kN/m}^3 \\ &= 40.53 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W \cdot \lambda \cdot FB &= 40.53 \text{ kN/m. } 15\text{m. } 1,1 \\ &= 668.7912 \text{ kN} \end{aligned}$$

### ***Live Load (LL)***

Beban Terbagi Rata (BTR)

$$BTR = 9 \text{ kN/m}^2 \quad \dots \text{ (SNI 1725-2016 Pasal 8.3.1)}$$

$$\begin{aligned} W_{LL1} &= BTR \cdot \lambda \cdot \text{Lebar jembatan} \cdot FB \\ &= 9\text{kN/m}^2. 15\text{m. } 12,4\text{m. } 2 \\ &= 3132 \text{ kN} \end{aligned}$$



Beban Garis (BGT)

$$\text{BGT} = 49 \text{ kN/m} \quad \dots (\text{SNI 1725-2016 Pasal 6.3.1})$$

$$\begin{aligned} W_{LL2} &= \text{BGT} \cdot \text{Lebar jembatan} \cdot \text{FB} \\ &= 49 \text{ kN/m} \cdot 12,4 \text{ m} \cdot 2 \\ &= 1136,8 \text{ kN} \end{aligned}$$

Beban Truk “T”

$$\begin{aligned} T &= 112,5 \text{ kN} \cdot 2 \quad \dots (\text{SNI 1725-2016 Pasal 8.4.1}) \\ &= 225 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_{LL\text{-TOTAL}} &= W_{LL1} + W_{LL2} + T \\ &= 3132 \text{ kN} + 1136,8 \text{ kN} + 2225 \text{ kN} \\ &= 4493,8 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\sigma_g = \frac{\sigma_{ijin} \cdot \sin 2\alpha}{2} - \gamma \cdot L$$

Dimana :

$\sigma_g$  = tegangan ijin kabel akibat berat sendiri dan beban tetap

$\gamma$  = berat jenis kabel ( $77 \text{ kN/m}^3$ )

$L$  = jarak antar kabel (15 m)

$\sigma_{ijin}$  = tegangan ijin kabel akibat beban total =  $0,8 \sigma_{putus \text{ kabel}}$

$$\sigma_{ijin} = 0,8 \cdot 1860 \text{ N/mm}^2$$

$$= 1488 \text{ N/mm}^2$$

$$= 1488000 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma_g = \frac{1488000 \cdot \sin(2 \cdot 21)}{2} - 77 \cdot 15$$

$$= 496678,17 \text{ kN/m}^2$$

$$A_i = \frac{\alpha N_{gi}}{\sigma_g}$$

Dimana :

$A_i$  = luas kabel utama

$\alpha$  = fraksi beban yang dipikul oleh kabel ( $0 < \alpha < 1$ ), 1 bila kabel sangat kaku, 0 bila gelagar sangat kaku. Maka akan digunakan 1.

$N_{g,i}$  = gaya kabel utama

Perhitungan luasan kabel yang dibutuhkan dapat dilihat pada Tabel 4.2.

**Tabel 4.2 Dimensi kabel**

| No | $S_i = m_1$                              | $\alpha$ | $\sin \alpha$   | $\cos \alpha$ | $W_{DL}$                               | $W_{LL}$        |
|----|--|----------|---|---------------|--|-----------------|
|    |  | derajat  |   |               | kN                                     | kN              |
| 1  | 1  | 22       | 0.375   | 0.927         | 668.791                                | 4493.8          |
| 2  | 2  | 26       | 0.438   | 0.899         | 668.791                                | 4493.8          |
| 3  | 3  | 32       | 0.530   | 0.848         | 668.791                                | 4493.8          |
| 4  | 4  | 45       | 0.707   | 0.707         | 668.791                                | 4493.8          |
| 5  | 5  | 75       | 0.966   | 0.259         | 668.791                                | 4493.8          |
| No | $N_{gi} = (WDL + WLL) \cdot \cos \alpha$ |          | $\sigma_g = ((\sigma_{ijin} \sin 2 \alpha) / 2) - \gamma L$ |               | $A_i = \alpha \cdot N_{gi} / \sigma_g$ | $n = A_i / A_s$ |
|    | kN                                       |          | kN/m <sup>2</sup>   |               | mm <sup>2</sup>                        | Buah            |
| 1  | 4,786.671                                |          | 515,670.828   |               | 9,282.416                              | 66.30           |
| 2  | 4,640.106                                |          | 585,125.001   |               | 7,930.111                              | 56.64           |
| 3  | 4,378.126                                |          | 667,547.770   |               | 6,558.520                              | 46.85           |
| 4  | 3,650.503                                |          | 742,845.000   |               | 4,914.219                              | 35.10           |
| 5  | 1,336.177                                |          | 370,845.000   |               | 3,603.060                              | 25.74           |

Dalam pelaksanaan, kabel akan mengalami lendutan (melengkung) akibat berat sendiri. Namun dalam analisa dianggap lurus dengan memberikan faktor koreksi pada E (Modulus Elastisitas) dengan persamaan sebagai berikut :

$$E_{eff} = \frac{E_0}{1 + \left( \frac{\gamma^2 \cdot L^2 \cdot E_0}{12 \cdot \sigma^3} \right)}$$

Dimana :

$E_{eff}$  = modulus elastisitas ekivalen

$E_0$  = modulus elastisitas kabel ( $2.10^5$  MPa)

$\gamma$  = berat jenis kabel

$$= 77 \text{ kN/m}^3 = 77 \cdot 10^{-6} \text{ N/mm}^3$$

$L$  = panjang horizontal kabel (mm)

$\sigma$  = tegangan tarik kabel

$$= 0.7 \cdot f_u$$

$$= 1302 \text{ N/mm}^2$$

Perhitungan nilai modulus elastisitas efektif ekivalen dapat dilihat pada Tabel 4.3.

**Tabel 4.3** Modulus Elastisitas Efektif Ekivalen ( $E_{eff}$ )

| No | $S_i = m_1$ | L    | $E_0$             | $\gamma$          | $\sigma$          | $E_{eff}$         |
|----|-------------|------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
|    |             | (m)  | N/mm <sup>2</sup> | N/mm <sup>2</sup> | N/mm <sup>2</sup> | N/mm <sup>2</sup> |
| 1  | 1           | 70.6 | 200,000           | 0.000077          | 1,302             | 199,999.420378    |
| 2  | 2           | 56.0 | 200,000           | 0.000077          | 1,302             | 199,999.635320    |
| 3  | 3           | 42.0 | 200,000           | 0.000077          | 1,302             | 199,999.794867    |
| 4  | 4           | 29.0 | 200,000           | 0.000077          | 1,302             | 199,999.902201    |
| 5  | 5           | 19.2 | 200,000           | 0.000077          | 1,302             | 199,999.957310    |

#### 4.1.4. Dimensi Pylon

Besarnya dimensi *pylon* diperkirakan berdasar nilai jumlah gaya aksial tekan kabel untuk satu sisi kolom vertikal.

- 1) Material *pylon* = beton bertulang
- 2)  $f'_c$  = 50 Mpa
- 3)  $f_y$  = 400 Mpa

Besarnya gaya yang terjadi pada *pylon* akibat kabel dapat dilihat pada tabel 4.4.

**Tabel 4.4** Gaya Aksial pada Pylon

| No | $S_i = m_1$ | $\alpha$ | $W_{DL}$ | $W_{LL}$ | $(W_{DL} + W_{LL}) \cdot \sin a$ |
|----|-------------|----------|----------|----------|----------------------------------|
|    |             | derajat  | kN       | kN       | kN                               |
| 1  | 1           | 22       | 668.7912 | 4493.8   | 1933.941                         |
| 2  | 2           | 26       | 668.7912 | 4493.8   | 2263.131                         |
| 3  | 3           | 32       | 668.7912 | 4493.8   | 2735.757                         |
| 4  | 4           | 45       | 668.7912 | 4493.8   | 3650.503                         |
| 5  | 5           | 75       | 668.7912 | 4493.8   | 4986.680                         |

Total

15,570.01

Dimensi *pylon* :

$$A = \frac{2 \cdot N_{gi}}{f'_c}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{2.10583,33.1000\text{N}}{40\text{N} / \text{mm}^2} \\
 &= 529166,58 \text{ mm}^2 \\
 &= 5291,67 \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

Luas Penampang direncanakan :

$$A = b \cdot (1,5 \cdot b)$$

$$= 1,5 \cdot b^2$$

$$b = \frac{A}{1,5}$$

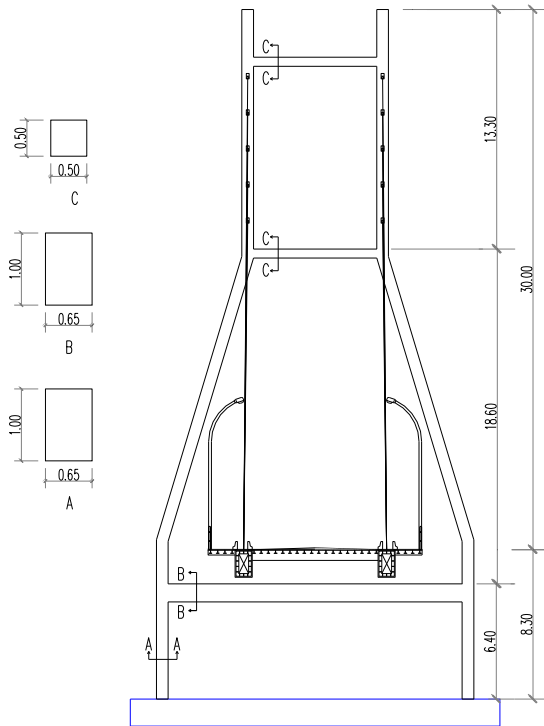
$$= \sqrt{\frac{5291,67}{1,5}}$$

$$= 63,28 \text{ cm} \approx 65 \text{ cm}$$

$$h = 1,5 \cdot 65 \text{ cm}$$

$$= 97,5 \text{ cm} \approx 100 \text{ cm}$$

Jadi dipakai dimensi *pylon*  $b = 65 \text{ cm}$  dan  $h = 100 \text{ cm}$



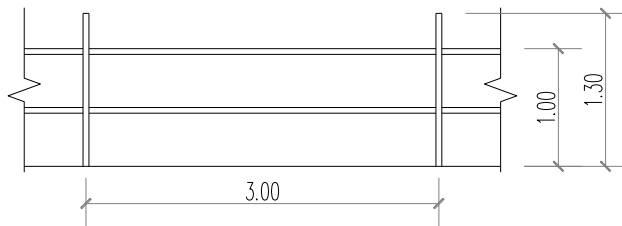
**Gambar 4.5** Penampang *pylon* (dalam meter)

## 4.2. Struktur Sekunder

Struktur sekunder pada jembatan ini terdiri dari tiang sandaran, pipa sandaran, dan pelat lantai. Dalam perhitungan, struktur sekunder tidak dianalisa bersama-sama dengan struktur utama, melainkan dianalisa secara terpisah. Hal ini karena struktur sekunder dianggap tidak banyak mempengaruhi perilaku struktur utama. Hasil perhitungan struktur sekunder berlaku sebagai beban saat menganalisa struktur utama.

### 4.2.1. Tiang dan Pipa Sandaran

Berdasarkan pada RSNI T-02-2005 pasal 12.5, beban yang bekerja pada sandaran adalah berupa gaya horizontal dan vertikal sebesar  $w = 0,75 \text{ kN/m}$  dan bekerja pada ketinggian 100 cm dari lantai trotoar. Sandaran menggunakan profil pipa dengan diameter 60,5 mm, lihat Gambar 4.6.



**Gambar 4.6** Tiang sandaran (dalam m)

Data perencanaan sandaran :

Panjang total jembatan = 147 m

Jarak tiang sandaran = 3 m

Bahan yang digunakan :

1. Tiang sandaran BJ 37 :

$f_u$  = 370 MPa

$f_y$  = 240 MPa

2. Pipa sandaran 2":

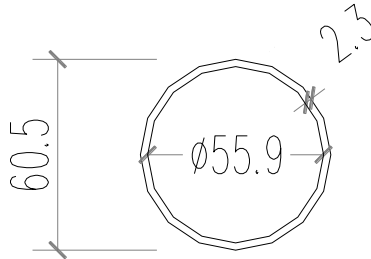
Diameter luar ( $d_o$ ) = 60,5 mm

Tebal pipa ( $t$ ) = 2,3 mm

Berat pipa ( $q$ ) = 5,4 kg/m

Mutu baja = BJ 41  
 $f_u$  = 410 MPa  
 $f_y$  = 250 MPa

Berikut ilustrasi profil pipa sandaran dapat dilihat pada Gambar 4.7.



**Gambar 4.7** Profil sandaran (dalam mm)

#### 4.2.1.1. Perhitungan Pipa Sandaran

a. Perhitungan momen pada pipa

- Akibat berat sendiri

$$\begin{aligned}
 M_{VD} &= (1/8) \cdot q \cdot l^2 \\
 &= (1/8) \cdot 5,4 \text{ kg/m} \cdot (3\text{m})^2 \\
 &= 6,075 \text{ kgm} = 0,06075 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

- Akibat beban vertikal

$$\begin{aligned}
 M_{VL} &= (1/8) \cdot w \cdot l^2 \\
 &= (1/8) \cdot 0,75 \text{ kN/m} \cdot (3\text{m})^2 \\
 &= 0,84375 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_V &= M_{VD} + M_{VL} \\
 &= (0,06075 + 0,84375) \text{ kNm} \\
 &= 0,905 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

- Akibat horizontal

$$\begin{aligned}
 M_H &= (1/8) \cdot w \cdot l^2 \\
 &= (1/8) \cdot 0,75 \text{ kN/m} \cdot (3\text{m})^2 \\
 &= 0,84375 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Momen resultan ( $M_R$ )

$$M_R = \sqrt{M_H^2 + M_V^2}$$

$$\begin{aligned}
 &= \sqrt{(0,84375^2 + 0,905^2)} \text{ kNm} \\
 &= 1,24 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

b. Cek Kekuatan Profil

- Batas kelangsingan profil

$$\lambda = \frac{d_o}{t} = \frac{60,5}{2,3} = 26,3$$

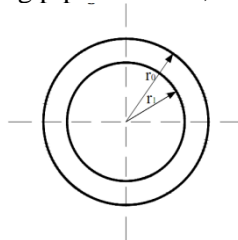
$$\lambda_p = \frac{14800}{f_y} = \frac{14800}{250} = 59,2$$

Karena  $\lambda < \lambda_p$  (penampang kompak) maka kuat lentur nominal penampang adalah  $M_n = M_p = Z_x \cdot f_y$

- Kuat lentur nominal

$$Z_x = \frac{4}{3} (r_o^3 - r_i^3) = \frac{4}{3} (30,25^3 - 29,1^3) = 12265,35 \text{ mm}^3$$

Ilustrasi penampang pipa sandaran, lihat Gambar 4.8.



**Gambar 4.8** Penampang pipa sandaran

$$\begin{aligned}
 M_n &= Z_x \cdot f_y = 12265,35 \text{ mm}^3 \cdot 250 \text{ N/mm}^2 \\
 &= 3066337,46 \text{ Nmm} \\
 &= 3,07 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$\phi M_n = 0,9 \cdot 3,07 = 2,76 \text{ kNm} > M_R = 1,24 \text{ kNm}$$

Maka profil dapat digunakan.



#### 4.2.1.2. Perhitungan Tiang Sandaran

Direncanakan tiang sandaran menggunakan baja profil WF 100.50.5.7 dengan spesifikasi :

$$\begin{aligned} d &= 100 \text{ mm} & tw &= 5 \text{ mm} \\ bf &= 50 \text{ mm} & tf &= 8 \text{ mm} \\ r &= 8 \text{ mm} & w &= 9,3 \text{ kg/m} \\ I_x &= 187 \text{ cm}^4 & I_y &= 14,8 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

Sifat mekanis baja struktural

$$\begin{aligned} BJ &= 37 \\ f_u &= 370 \text{ MPa} \\ f_y &= 240 \text{ MPa} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Beban horizontal} &= 3 \text{ m. } 0,75 \text{ kN/m} \\ &= 2,25 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\text{Tinggi tiang sandaran} = 1,3 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \text{Momen yang terjadi} &= 1,3 \text{ m. } 2,25 \text{ kN} \\ &= 2,925 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Cek tegangan yang terjadi pada tiang sandaran

$$\sigma_u < \sigma_{ijin}$$

$$\sigma_u = \frac{M}{w}$$

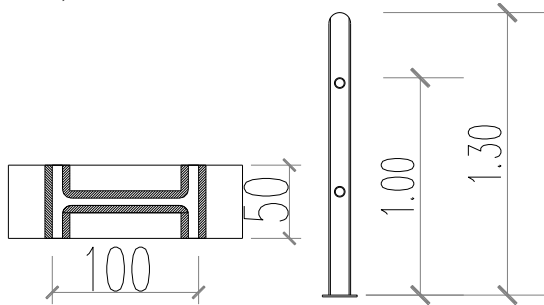
$$\begin{aligned} w &= \frac{I_x}{y} \\ &= \frac{187 \text{ cm}^4}{5 \text{ cm}} \\ &= 66,08 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_u &= \frac{29250 \text{ kgcm}}{37,4 \text{ cm}^3} \\ &= 782,09 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_{ijin} = 2400 \text{ kg/cm}^2 \dots \text{OK} \end{aligned}$$

#### 4.2.1.3. Perhitungan Sambungan Las Tiang Sandaran

$$q_{\text{eff tiang}} = 0,707 \frac{f_u}{F_{E60}} t_w$$

$$\begin{aligned}
 &= 0,707 \frac{3700 \text{ kg / cm}^2}{60.70,33 \text{ kg / cm}^2} 0,5 \text{ cm} \\
 &= 0,309 \text{ cm} \\
 &= 3,09 \text{ mm} \\
 Q_{\text{pelat}} &= 1,41 \frac{f_u}{F_{E60}} t_p \\
 &= 1,41 \frac{3700 \text{ kg / cm}^2}{60.70,33 \text{ kg / cm}^2} 0,8 \text{ cm} \\
 &= 0,989 \text{ cm} \\
 &= 9,89 \text{ mm}
 \end{aligned}$$



**Gambar 4.9** Sambungan las (dalam mm)

Dicoba  $t_e = 1 \text{ cm}$

$$\begin{aligned}
 A &= 2 \cdot 5 \text{ cm} + (2(10 \text{ cm} - (2 \cdot 0,7 \text{ cm})) + (2(5 \text{ cm} - 0,5 \text{ cm}))) \\
 &= 36,2 \text{ cm}^2
 \end{aligned}$$

$$S_x = 37,5 \text{ cm}^3$$

Menghitung gaya yang terjadi

$$H_{ux} = H_{uy}$$

$$f_{hx} = f_{hy}$$

$$= H_{ux} / A$$

$$= (0,75 \text{ kg/cm} \cdot 300 \text{ cm}) / 36,2 \text{ cm}^2$$

$$= 6,22 \text{ kg}$$

$$P_{ux} = P_{uy}$$

$$f_{vx} = f_{vy}$$

$$\begin{aligned}
 &= P_{ux}/A \\
 &= (0,75\text{kg/cm} \cdot 300\text{cm})/ 36,2 \text{ cm}^2 \\
 &= 6,22 \text{ kg} \\
 M_{ux} &= f_z \\
 &= M_{ux}/S_x \\
 &= (300\text{cm} \cdot 0,75\text{kg/cm} \cdot 130\text{cm})/ 37,5\text{cm}^3 \\
 &= 780 \text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 f_0 &= \sqrt{\left(\sqrt{\left(f_{hx}^2 + f_{hy}^2\right)}\right)^2 + \left(f_{ux} + f_{uy}\right)^2} \\
 &= \sqrt{\left(\sqrt{\left(6,22^2 + 6,22^2\right)}\right)^2 + \left(6,22 + 6,22\right)^2} \\
 &= 15,22 \text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 f_{tot} &= \sqrt{f_0^2 + f_z^2} \\
 &= \sqrt{780^2 + 15,22^2} \\
 &= 780,15 \text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \varnothing_n &= 0,75 \cdot \text{tw} \cdot F_{E60} \\
 &= 0,75 \cdot 0,5 \cdot 60 \cdot 70,33 \text{ kg/cm}^2 \\
 &= 1582,425 \text{ kg/cm}^2 > f_{tot} = 780,15 \text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 te_{\text{perlu}} &= f_{tot}/ \varnothing_n \\
 &= \frac{780,15 \text{ kg} / \text{cm}^2}{1582,425\text{kg} / \text{cm}^2} \\
 &= 0,49 \text{ cm} \approx 5 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 a_{\text{perlu}} &= te_{\text{perlu}}/ 0,707 \\
 &= 0,5/ 0,707 \\
 &= 0,707 \text{ cm} \\
 &= 7,07 \text{ mm} \approx 8 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

#### 4.2.2. Perencanaan Pelat Lantai Kendaraan

Pada perhitungan pelat lantai kendaraan mengacu pada buku “*Design of Modern Steel Highway Bridges*” C.P Heins & D.A Firmage persamaan 6.25 sebagai berikut.

$$t_p = 0,0065a\sqrt[3]{P}$$

Dimana :

$t_p$  = tebal minimum pelat (in)

$a$  = jarak antar rusuk (in)

$P$  = tekanan akibat roda truk

Faktor Beban Dinamis (FBD) untuk pembebanan truk diambil 30%, SNI 1725-2016 pasal 8.6.

$$P = \frac{(100\% + 30\%) T}{A}$$

Dimana :

$P$  = tekanan akibat roda truk

$T$  = besarnya beban roda truk, 11,25 T (22,5 kip)  
SNI 1725-2016 pasal 8.4.1

$A$  = Luas bidang kontak (in)

Berdasarkan AASHTO 1.7.140, nilai lebar dan panjang bidang kontak roda truk dapat dicari menggunakan persamaan berikut.

$$\text{Lebar} = 20 + 2t$$

$$\text{Panjang} = 8 + 2t$$

Dimana :

$t$  = ketebalan aspal (in)

Direncanakan ketebalan aspal 8 cm (3,15 in), maka didapat.

$$\text{Lebar} = 20 + (2 \cdot 3,15)$$

$$= 26,3 \text{ in}$$

$$= 668 \text{ mm}$$

$$\text{Panjang} = 8 + (2 \cdot 3,15)$$

$$= 14,3 \text{ in}$$

$$= 363,2 \text{ mm}$$

$$A = 26,3 \text{ in} \cdot 14,3 \text{ in}$$

$$\begin{aligned}
 &= 376 \text{ in}^2 = 9551,86 \text{ mm}^2 \\
 P &= \frac{(100\% + 30\%) 22,5 \text{ kip}}{376 \text{ in}^2} \\
 &= 0,07778 \text{ kip/in}^2 \\
 &= 77,78 \text{ psi} \\
 &= 0,54 \text{ N/mm}^2
 \end{aligned}$$

Pada desain struktur jembatan, akan sangat membantu jika tahu desain pada umumnya. Dalam buku “Design of Modern Steel Highway Bridges” C.P Heins & D.A Firmage, dijelaskan tren susunan dek yang ada dari hasil studi lapangan menunjukkan:

- (1) Dek dengan rusuk terbuka
  - Ukuran rusuk = 3/8 in x 8 in – 1 in x 12 in
  - Spasi rusuk = 12 in – 16 in
- (2) Dek dengan rusuk tertutup
  - Ukuran rusuk = 12 in x 12 in x 5/12 in
  - Spasi rusuk = 24 in – 28 in

Direncanakan jarak antar rusuk (*rib*) 40 cm (15,75 in), maka diperoleh tebal minimum pelat baja:

$$\begin{aligned}
 t_p &= 0,0065a\sqrt[3]{P} \\
 &= 0,0065.15,75. \sqrt[3]{77,78} \\
 &= 0,44 \text{ in} \\
 &= 1,11 \text{ cm, diambil tebal pelat 1,5 cm (0,59 in)}
 \end{aligned}$$

Cek dengan tegangan yang diijinkan

$$\sigma_{ijin} = \frac{M}{\frac{1}{6} \cdot b \cdot t^2}$$

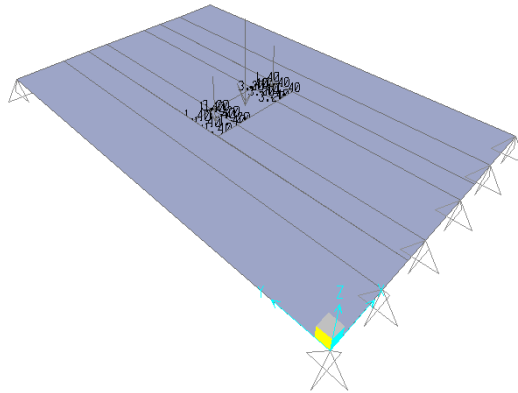
Dengan tebal lantai kendaraan direncanakan 1,5cm

Beban roda dijadikan beban terpusat

$$q = \frac{P}{\text{Luas roda}}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{11250 \text{ kg}}{75 \text{ cm} \cdot 25 \text{ cm}} \\
 &= 6 \text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

Dengan program bantuan SAP2000 untuk mengetahui momen yang terjadi pada lantai kendaraan dengan beban roda truk yang berupa beban merata. Dapat dilihat pada Gambar 4.10.



**Gambar 4.10** Beban Roda Truck Pada Lantai kendaraan

Momen yang dihasilkan adalah 9812,15 kgcm

$$\begin{aligned}
 \sigma_{ijin} &= \frac{9182,15}{\frac{1}{6} \cdot 300 \cdot 1,5^2} \\
 1666 \text{ kg/cm}^2 &> 87,22 \text{ kg/cm}^2 \dots \text{OK}
 \end{aligned}$$

Maka tebal lantai kendaraan biasa digunakan 1,5 cm

$$\begin{aligned}
 t &= 1,5 \text{ cm} \\
 &= 0,59 \text{ in}
 \end{aligned}$$

#### 4.2.2.1. Kontrol Lendutan Pelat

Lendutan yang terjadi pada pelat lantai kendaraan menurut buku “*Design of Modern Steel Highway Bridges*” C.P

Heins & D.A Firmage, adalah sama dengan yang terjadi pada balok dikalikan dengan 5/6.

$$W = \frac{5}{6} \cdot \frac{1}{384} \cdot \frac{pl^4}{EI} \leq \frac{1}{300}$$

Dimana :

W = lendutan maksimum dari pelat lantai kendaraan di bawah beban roda.

p = beban roda per satuan luas (77,78 psi = 0.54 N/mm<sup>2</sup>)

l = jarak antar rusuk (15,75 in = 400 mm)

$$I = \frac{t_p^3}{12}$$

$$= \frac{0,59^3}{12}$$

$$= 0,017$$

$$E = 20 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2$$

$$= 29 \cdot 10^6 \text{ psi}$$

$$W = \frac{5}{6} \cdot \frac{1}{384} \cdot \frac{77,78 \cdot 15,75^4}{29 \cdot 10^6 \cdot 0,017} \leq \frac{15,75}{300}$$

$$= 0,02086 \text{ in (0,53 mm)} < 0,0525 \text{ in (1,33 mm)} \dots \text{OK}$$

#### 4.2.3. Perencanaan Rusuk di Atas Perletakan Kaku

(1) Perhitungan penampang efektif rusuk

Beban roda truk "T" = 22,5 kip

= 11,25 T

= 11250 kg

Panjang efektif rusuk menurut "Design of Modern Steel Highway Bridges" C.P Heins & D.A Firmage, dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$I_1 = 0,7l$$

Dimana :

$l$  = jarak antar gelagar melintang, direncanakan sejarak 3 m.

$$I_1 = 0,7 \cdot (3 \text{ m}) \\ = 2,1 \text{ m}$$

Lebar efektif rusuk ( $a_0$ ) :

$$\frac{B}{a} = \frac{\text{Lebar Kontak Roda Truk}}{\text{Jarak Antar Rusuk}} \\ = \frac{50\text{cm}}{40\text{cm}} \\ = 1,25$$

Dari gambar 6.7 “Design of Modern Steel Highway Bridges” C.P Heins & D.A Firmage, *Ideal spacing of flexible ribs*, didapat nilai

$$\frac{a^*}{a} = 1,75$$

maka dapat dihitung spasi rusuk ideal ( $a^*$ )

$$a^* = a \cdot 1,75 \\ = 40 \text{ cm} \cdot 1,75 \\ = 70 \text{ cm}$$

$$\beta = \frac{\pi a^*}{l_1} \\ = \frac{\pi 70}{210} \\ = 1,05$$

Dari gambar 6.6 “Design of Modern Steel Highway Bridges” C.P Heins & D.A Firmage, *effective width of orthotropic deck plate*, didapat.



$$\lambda = \frac{a_0}{a^*}$$

$$= 0,90$$

maka dapat dihitung lebar efektif pelat yang dibebankan ke rusuk ( $a_0$ )

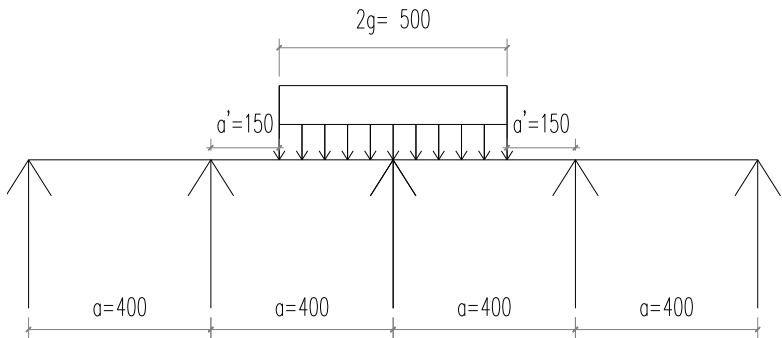
$$a_0 = a^* \cdot 0,90$$

$$= 70 \text{ cm} \cdot 0,90$$

$$= 63 \text{ cm}$$

(2) Perencanaan Geometri Rusuk

Reaksi pada rusuk akibat menerima beban roda truk, lihat Gambar 4.11



**Gambar 4.11** Reaksi pada rusuk (dalam mm)

Beban roda truk “T”

$$T = 22,5 \text{ kip}$$

$$= 11,25 \text{ T}$$

$$= 11250 \text{ kg}$$

$$q = \frac{T}{2g}$$

Dimana :

$2g$  = lebar kontak roda truk

$$q = \frac{11250 \text{ kg}}{50 \text{ cm}}$$

$$= 225 \text{ kg/cm}$$

$$\begin{aligned}
\Sigma M_A &= 0 \\
R.a &= q \cdot (0,5.g). (a'+a') \\
R.40\text{cm} &= 225 \text{ kg/cm}. (0,5.25). (15+15) \\
R &= 84375 \text{ kg.cm}/40\text{cm} \\
&= 2109,39 \text{ kg} \\
2.R &= 2. 2109,39 \text{ kg} \\
&= 4218,75 \text{ kg}
\end{aligned}$$

Momen tengah bentang rusuk sepanjang 3 m :

$$\begin{aligned}
M &= \frac{1}{4} . R.L \\
&= 0,25. 1,3. 4218,75 \text{ kg}. 300 \text{ cm} \\
&= 316406,25 \text{ kgcm}
\end{aligned}$$

Direncanakan sifat mekanis baja struktural

$$\begin{aligned}
BJ &= 41 \\
f_u &= 410 \text{ MPa} \\
f_y &= 250 \text{ MPa}
\end{aligned}$$

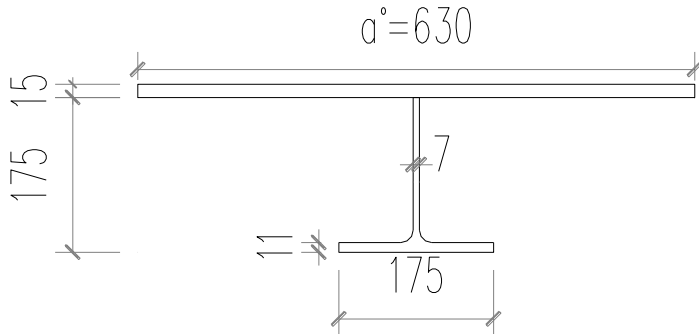
maka dapat dihitung *section* modulus minimum ( $S_{\text{perlu}}$ )

$$\begin{aligned}
S_{\text{perlu}} &= \frac{M}{\sigma} \\
&= \frac{316406,25 \text{ kgcm}}{2500 \text{ kg/cm}^2} \\
&= 126,56 \text{ cm}^3
\end{aligned}$$

Profil yang digunakan saat preliminary menggunakan profil WF 300.150.6,5.9 maka digunakan profil T dari WF yang dipotong pada webnya. Tetapi tinggi profil kurang maka menggunakan profil 175.175.7.11

$$\begin{aligned}
d &= 175 \text{ mm} & tw &= 7 \text{ mm} \\
bf &= 175 \text{ mm} & tf &= 11 \text{ mm} \\
r &= 14 \text{ mm} & w &= 49,6 \text{ kg/m} \\
A &= 63,14 \text{ cm}^2
\end{aligned}$$

Jadi penampang profil dengan lantai kendaraan seperti pada Gambar 4.12 berikut ini.



**Gambar 4.12** Geometri rusuk (dalam mm)

sifat mekanis baja struktural

$$BJ = 41$$

$$f_u = 410 \text{ MPa}$$

$$f_y = 250 \text{ MPa}$$

$$\begin{aligned} A_{\text{plate}} &= 63 \text{ cm} \cdot 1,5 \text{ cm} \\ &= 94,5 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{\text{profil}} &= 0,5 \cdot 63,14 \\ &= 31,57 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_{\text{total}} &= 94,5 \text{ cm}^2 + 31,57 \text{ cm}^2 \\ &= 126,07 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Letak garis netral y

$$\begin{aligned} y &= \frac{\left( 252 \text{ cm}^2 \cdot \left( \frac{1}{2} \cdot 1,5 \text{ cm} + 17,5 \text{ cm} \right) \right) +}{126,07 \text{ cm}^2} \\ &\quad \frac{\left( (17,5 \text{ cm} \cdot 1,1 \text{ cm}) \cdot \left( \frac{1}{2} \cdot 1,1 + 16,4 \right) \text{ cm} \right)}{126,07 \text{ cm}^2} + \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& \frac{\left( (16,4\text{cm}.0,7\text{cm}).\left(\frac{1}{2}.16,4+1,1\right)\text{cm} \right)}{126,07\text{cm}^2} + \\
& \frac{\left( (17,5\text{cm}.1,1\text{cm}).\left(\frac{1}{2}.1,1\right) \right)}{126,07\text{cm}^2} \\
& = \frac{1724,63\text{cm}^3 + 326,2875\text{cm}^3 + 106,764\text{cm}^3}{126,07\text{cm}^2} \\
& + \frac{10,5875}{126,07\text{cm}^2} \\
& = 17,2 \text{ cm (dari serat bawah)}
\end{aligned}$$

Momen inersia I dan *section* modulus :

$$\begin{aligned}
I &= \frac{1}{12}bh^3 + Ad^2 \\
&= (1/12.0,7.16,4^3) + (94,5.((17,5 + 0,5.1,5) - 17,2)^2) + \\
& (17,5.1,1.((17,5-1,1+0,5.1,1) - 17,2)^2) + (17,5.0,7.((17,5 + \\
& 1,1) - 17,2)^2) + (17,5.1,1 ((0,5.1,1) - 17,2)^2) \\
&= 257,31 + 104,41 + 716,27 + 5335,82 \\
&= 6413,8 \text{ cm}^4
\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
S_{\text{atas}} &= \frac{I}{(t_{\text{tot}} - y)} \\
&= \frac{6413,8 \text{ cm}^4}{(1,5 + 17,5 - 17,2)\text{cm}} \\
&= 3561,02 \text{ cm}^3
\end{aligned}$$

$$S_{\text{bawah}} = \frac{I}{y}$$

$$\begin{aligned}
 &= \frac{6413,8 \text{ cm}^4}{17,2 \text{ cm}} \\
 &= 372,92 \text{ cm}^3 > S_{\text{perlu}} = 126,56 \text{ cm}^3
 \end{aligned}$$

#### 4.2.3.1. Perhitungan Beban Berjalan Diatas Rusuk

##### (1) Beban Hidup

Pada perhitungan sebelumnya didapat nilai  $\frac{B}{a} = 1,25$

Berdasarkan Gambar 6.8 pada buku “*Design of Modern Steel Highway Bridges*” C.P. Heins & D.A Firmage,

didapatkan  $\frac{R_o}{P_1} = 0,78$

Maka untuk beban roda depan truk sebesar 25 kN (5 kip)

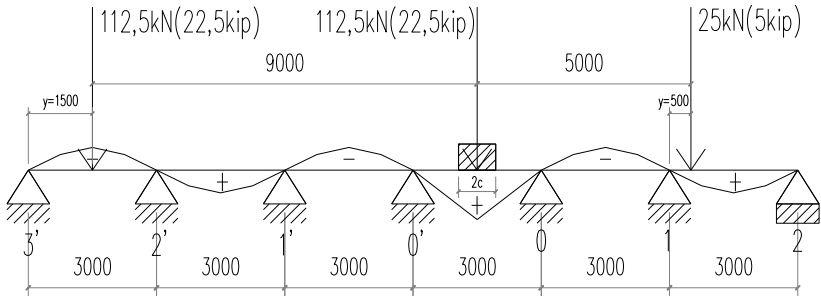
$$\begin{aligned}
 R_o &= \frac{R_o}{P_1} \cdot P_1 \\
 &= 0,78 \cdot 1,3 \cdot 5 \text{ kip} \\
 &= 5,07 \text{ kip} \\
 &= 25,35 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Untuk roda belakang dengan beban sebesar 112,5 kN (22,5 kip)

$$\begin{aligned}
 R_o &= \frac{R_o}{P_1} \cdot P_1 \\
 &= 0,78 \cdot 1,3 \cdot 22,5 \text{ kip} \\
 &= 22,815 \text{ kip} \\
 &= 114,08 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

##### (2) Momen di Tengah Bentang Rusuk (Mc) Akibat Beban Hidup

Berikut pembebanan truk untuk menghitung momen rusuk pada tengah bentang dapat dilihat pada Gambar 4.13.



**Gambar 4.13** Pembebanan truk pada rusuk di tengah bentang (dalam mm)

1) Momen  $M_{c0-0'}$  akibat beban roda belakang (22,5 kip)

$$M_{c0-0'} = 2R_0cl \left[ 0,1708 - 0,25 \left( \frac{c}{l} \right) + 0,1075 \left( \frac{c}{l} \right)^2 \right]$$

Dimana :

$$R_0 = 22,815 \text{ kip (114,08 kN)}$$

$$c = 0,5 \text{ ft (152,4 mm) (C.P Heins \& D.A Firmage 6.3.4)}$$

$$l = 3 \text{ m} = 9,84 \text{ ft}$$

$$M_{c0-0'} = 2 \cdot 22,815 \text{ kip} \cdot 0,5 \cdot 9,84 \text{ ft}$$

$$\left[ 0,1708 - 0,25 \left( \frac{0,5}{9,84} \right) + 0,1075 \left( \frac{0,5}{9,84} \right)^2 \right]$$

$$= 35,555 \text{ kip-ft}$$

$$= 48,21 \text{ kN-m}$$

2) Momen  $M_{c1-2}$  akibat beban roda depan (5 kip)

$$\left[ \frac{M_c}{Pl} \right]_m = \left[ -0,183 \frac{y}{l} + 0,317 \left( \frac{y}{l} \right)^2 - 0,134 \left( \frac{y}{l} \right)^3 \right] (-0,268)^m$$

$$M_{c1-2} =$$

$$R_0 l \left[ -0,183 \frac{y}{l} + 0,317 \left( \frac{y}{l} \right)^2 - 0,134 \left( \frac{y}{l} \right)^3 \right] (-0,268)^m$$

Dimana :

$$R_0 = 5,07 \text{ kip (25,35 kN)}$$

$$l = 9,84 \text{ ft (3 m)}$$

$$y = 0,5 \text{ m}$$

$$= 1,64 \text{ ft}$$

$$M_{c1-2} = 5,07 \text{ kip} \cdot 9,84 \text{ ft.}$$

$$\left[ -0,183 \frac{1,64}{9,84} + 0,317 \left( \frac{1,64}{9,84} \right)^2 - 0,134 \left( \frac{1,64}{9,84} \right)^3 \right] (-0,268)^0$$

$$= -1,113 \text{ kip-ft}$$

$$= -1,51 \text{ kN-m}$$

3) Momen  $M_{c2'-3'}$  akibat beban roda belakang (22,5 kip)

$$\left[ \frac{M_c}{Pl} \right]_m = \left[ -0,183 \frac{y}{l} + 0,317 \left( \frac{y}{l} \right)^2 - 0,134 \left( \frac{y}{l} \right)^3 \right] (-0,268)^m$$

(6.16b)

$$M_{c2'-3'} =$$

$$R_0 l \left[ -0,183 \frac{y}{l} + 0,317 \left( \frac{y}{l} \right)^2 - 0,134 \left( \frac{y}{l} \right)^3 \right] (-0,268)^m$$

Dimana :

$$R_0 = 22,815 \text{ kip}$$

$$l = 9,84 \text{ ft}$$

$$y = 1,5 \text{ m}$$

$$= 4,92 \text{ ft}$$

$$M_{c2'-3'} = 22,815 \text{ kip} \cdot 9,84 \text{ ft.}$$

$$\left[ -0,183 \frac{4,92}{9,84} + 0,317 \left( \frac{4,92}{9,84} \right)^2 - 0,134 \left( \frac{4,92}{9,84} \right)^3 \right] (-0,268)^1$$

$$= 1,745 \text{ kip-ft} = 2,37 \text{ kN-m}$$

Total momen pada tengah bentang :

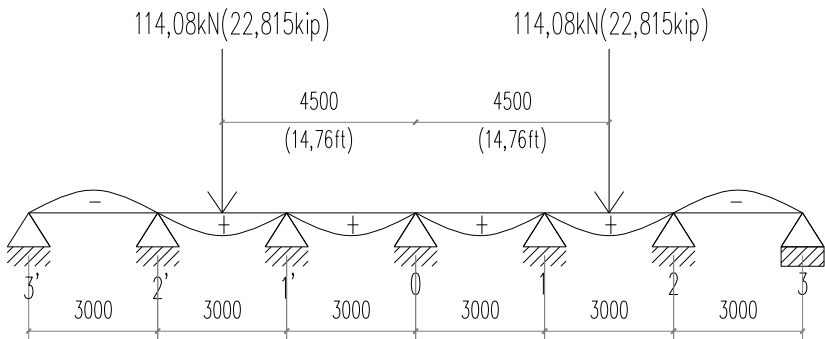
Mc dengan meperhitungkan beban roda depan 5 kip

$$\begin{aligned} Mc &= (35,555 - 1,113 + 1,745) \text{ kip-ft} \\ &= 36,187 \text{ kip-ft} \\ &= 49,07 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Mc tanpa meperhitungkan beban roda depan 5 kip

$$\begin{aligned} Mc &= (35,555 + 1,745) \text{ kip-ft} \\ &= 37,3 \text{ kip-ft (menentukan)} \\ &= 50,579 \text{ kNm} \\ &= 505790 \text{ kgcm} \end{aligned}$$

- (3) Momen Perletakan pada Rusuk (Ms) Akibat Beban Hidup  
Untuk memperoleh momen terbesar, maka diatur perletakan pembebanan dengan roda belakang truk. Berikut ilustrasi pembebanan untuk menghitung momen rusuk, lihat Gambar 4.14.



**Gambar 4.14** Beban truk pada rusuk di tumpuan  
(satuan dalam mm)



$$\left[ \frac{M_s}{Pl} \right] = \left[ -0,5 \frac{y}{l} + 0,866 \left( \frac{y}{l} \right)^2 - 0,366 \left( \frac{y}{l} \right)^3 \right] (-0,268)^m$$

$$M_s = R_0 l \left[ -0,5 \frac{y}{l} + 0,866 \left( \frac{y}{l} \right)^2 - 0,366 \left( \frac{y}{l} \right)^3 \right] (-0,268)^m$$

Dimana :

$$R_0 = 22,815 \text{ kip (114,08 kN)}$$

$$l = 9,84 \text{ ft (300 m)}$$

$$y = 14,76 \text{ ft (4500 mm)}$$

Untuk beban pada bentang 0-2 dan 0-2', nilai  $(-0,268)^m$  dianggap = 1 (C.P Heins & A.H Firmage Design Example 6.1)

$$M_{s-y_1} = 22,815 \text{ kip} \cdot 9,84 \text{ ft}$$

$$\left[ -0,5 \frac{14,76}{9,84} + 0,866 \left( \frac{14,76}{9,84} \right)^2 - 0,366 \left( \frac{14,76}{9,84} \right)^3 \right]$$

$$= -8,28 \text{ kip-ft}$$

$$= -11,23 \text{ kN.mm}$$

$$M_s = 2 \cdot (-8,28) \text{ kip-ft}$$

$$= -16,56 \text{ kip-ft}$$

$$= -22,46 \text{ kN.mm}$$

- (4) Tegangan Lendutan yang Terjadi pada Rusuk Akibat Momen Lendutan oleh Beban Hidup Kendaraan.

$$\sigma_{\text{atas}} = \frac{M}{S_{\text{atas}}}$$

$$= \frac{505790 \text{ kgcm}}{3561,02 \text{ cm}^3}$$

$$= 142,03 \text{ kg/cm}^2$$

$$\begin{aligned}
 \sigma_{\text{bawah}} &= \frac{M}{S_{\text{bawah}}} \\
 &= \frac{505790 \text{ kgcm}}{372,92 \text{ cm}^3} \\
 &= 1356,3 \text{ kg/cm}^2 < \sigma_{\text{ijin}} = 2500 \text{ kg/cm}^2 \text{ (OK)}
 \end{aligned}$$

Kontrol lendutan rusuk, dengan jarak antar balok melintang 3 m

$$W = \frac{1}{48} \cdot \frac{p a^3}{EI} \leq \frac{a}{300}$$

Dimana :

W = lendutan maksimum dari pelat lantai kendaraan di bawah beban roda.

p = beban roda per satuan luas  
 $= (11250 + 30\% \cdot 11250) \text{ kg}$   
 $= 14625 \text{ kg}$

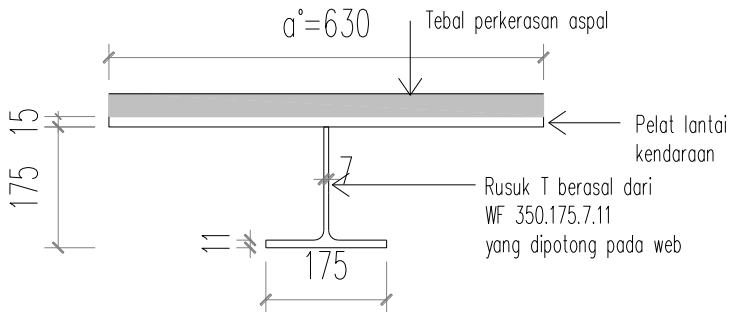
a = jarak antar balok melintang  
 $= 3 \text{ m}$   
 $= 300 \text{ cm}$

E =  $2,1 \cdot 10^6 \text{ kg/cm}^2$

I = momen inersia rusuk  
 $= 6413,8 \text{ cm}^4$

$$\begin{aligned}
 W &= \frac{1}{48} \cdot \frac{14625 \cdot 300^3}{2,1 \cdot 10^6 \cdot 6413,8} \leq \frac{300}{300} \\
 &= 0,611 \text{ cm} < 1,0 \text{ cm} \dots \text{OK}
 \end{aligned}$$

- (5) Momen Luntur pada Rusuk Akibat Beban Mati  
 Berikut ilustrasi beban yang dipikul untuk satu rusuk, lihat Gambar 4.15



**Gambar 4.15** Beban mati yang dipikul satu rusuk  
(satuan dalam mm)

1. Perkerasan aspal 8 cm  
 $= 0,08 \text{ m} \cdot 0,4 \text{ m} \cdot 1.2240 \text{ kg/m}^3$   
 $= 71,68 \text{ kg/m}$
2. Pelat lantai 1,5 cm  
 $= 0,015 \text{ m} \cdot 0,4 \text{ m} \cdot 1.7850 \text{ kg/m}^3$   
 $= 47,1 \text{ kg/m}$
3. Rusuk,  
 $= 31,57 \cdot 10^{-2} \cdot 7850$   
 $= 24,78 \text{ kg/m}$

Beban mati total untuk satu rusuk dengan jarak antar rusuk 40 cm didapat :

$$= (71,68 + 47,1 + 24,78) \text{ kg/m}$$

$$= 143,56 \text{ kg/m}$$

Momen yang terjadi pada tengah bentang dan pada perletakan adalah sebagai berikut :

$$\begin{aligned} M_t &= -(1/12) \cdot q \cdot l^2 \\ &= -(1/12) \cdot 143,56 \text{ kg/m} \cdot (3 \text{ m})^2 \\ &= -107,67 \text{ kgm} \\ M_l &= (1/24) \cdot q \cdot l^2 \\ &= (1/24) \cdot 143,56 \text{ kg/m} \cdot (3 \text{ m})^2 \\ &= 53,84 \text{ kgm} \end{aligned}$$

#### 4.2.3.2. Kontrol Kelangsingan Rusuk

Kontrol kelangsingan rusuk menurut buku “*Design of Modern Steel Highway Bridges*” C.P. Heins & D.A Firmage 6.4.7 Maximum Slenderness of Longitudinal Bbs. AASHTO 1.7.144 dapat dihitung menurut persamaan berikut.

$$\left(\frac{L}{r}\right) = 1000 \sqrt{\frac{1500}{f_y} - \frac{2700F}{f_y^2}}$$

Dimana :

L = jarak antar balok melintang (3 m = 118,11 in)

r = jari-jari girasi rusuk, termasuk lebar efektif dari pelat dek.

F = *maximum compressive stress* pada pelat dek yang berlaku sebagai sayap atas (psi).

$f_y$  = tegangan leleh material rusuk BJ 41 (psi).

$$\begin{aligned} r &= \sqrt{\frac{I}{A}} \\ &= \sqrt{\frac{6413,8 \text{ cm}^4}{31,57 \text{ cm}^2}} \\ &= 14,25 \text{ cm} \\ &= 5,61 \text{ in} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \left(\frac{L}{r}\right) &= \frac{118,11 \text{ in}}{5,61 \text{ in}} \\ &= 21,05 \end{aligned}$$

$$\left(\frac{L}{r}\right) = 1000 \sqrt{\frac{1500}{f_y} - \frac{2700F}{f_y^2}}$$

$$\begin{aligned} F &= \sigma_{\text{atas}} \\ &= 165,69 \text{ kg/cm}^2 \\ &= 23,56 \text{ psi} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_y &= 250 \text{ Mpa} \\ &= 36259,44 \text{ psi} \end{aligned}$$

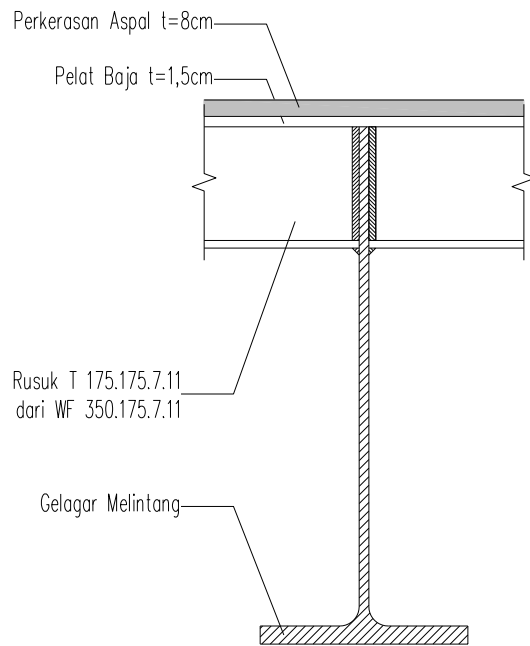
$$\begin{aligned} \left( \frac{L}{r} \right) &= 1000 \sqrt{\frac{1500}{36259,43} - \frac{2700.23,56}{36259,43^2}} \\ 21,05 &= 203,274 \\ 21,05 &< 203,274 \dots (\text{OK}) \end{aligned}$$

#### 4.2.3.3. Sambungan Rusuk terhadap Gelagar Melintang

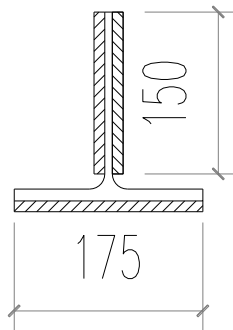
Sambungan rusuk terhadap gelagar melintang didesain berupa sambungan sederhana (simple connection). Pada desain ini diasumsikan sambungan menerima beban  $V_u$ , pada baut menerima beban  $V_u$  dan  $M_u$ , namun nilai momen biasanya kecil sehingga diabaikan.

$$\begin{aligned} V_u &= q_{\text{beban mati}} \cdot 0,5.3 \text{ m} + P \\ &= 143,56 \text{ kg/m} \cdot 0,5.3 \text{ m} + 14625 \text{ kg} \\ &= 14840,34 \text{ kg} \end{aligned}$$

Berikut ilustrasi sambungan pada gelagar melintang dapat dilihat pada Gambar 4.16, dan Gambar 4.17.



**Gambar 4.16** Sambungan rusuk terhadap gelagar melintang



**Gambar 4.17** Sambungan las pada rusuk  
(satuan dalam mm)

Dari perhitungan sebelumnya didapat nilai gaya sebagai berikut :

$$\begin{aligned} V_u &= 14840,34 \text{ kg} \\ M_u &= 22,46 \text{ kNm} \\ &= 224700 \text{ kgcm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} S_x &= 3561,02 \text{ cm}^3 \\ t_e &= 1 \text{ cm} \\ A &= (15 \text{ cm} \cdot 1 \text{ cm} \cdot 2) + (17,5 \text{ cm} \cdot 1 \text{ cm}) \\ &= 47,5 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Akibat  $V_u$  :

$$\begin{aligned} f_v &= \frac{V_u}{A} \\ &= \frac{14840,34 \text{ kg}}{47,5 \text{ cm}^2} \\ &= 312,43 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

Akibat  $M_u$  :

$$\begin{aligned} f_h &= \frac{M_u}{S_x} \\ &= \frac{224700 \text{ kgcm}}{3561,02 \text{ cm}^3} \\ &= 63,1 \text{ kg/cm}^2 \\ f_{\text{total}} &= \sqrt{f_h^2 + f_v^2} \\ &= \sqrt{63,1^2 + 312,43^2} \\ &= 318,74 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi f_n &= \phi \cdot 0,6 \cdot E70 \\ &= 0,75 \cdot 0,6 \cdot 70 \cdot 70,3 \text{ kg/cm}^2 \\ &= 2214,45 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 t_{e\text{-perlu}} &= \frac{f_{\text{total}}}{\phi f_n} \cdot 1\text{cm} \\
 &= \frac{318,74}{323,4} \cdot 1\text{cm} \\
 &= 0,14\text{cm} \\
 a &= \frac{t_e}{0,707} \\
 &= 0,2\text{ cm} \approx \text{dipakai } a_{\text{min}} = 5\text{ mm}
 \end{aligned}$$

#### 4.2.3.4. Sambungan Pelat Kendaraan dengan Rusuk

Pada pertemuan antar segmen lantai kendaraan rusuk disambung menggunakan sambungan balok.

$$\begin{aligned}
 M_u &= 316406,25\text{ kgcm} \\
 &= 3164,06\text{ kgm} \\
 P_u &= V_u - q_{\text{bebanmati}} \cdot 0,5 \cdot L \\
 &= 14840,34 - 143,56 \cdot 0,5 \cdot 3 \\
 &= 14625\text{ kg}
 \end{aligned}$$

Pembagian momen :

$$\begin{aligned}
 M_{u\text{-badan}} &= \frac{I_{bd}}{I_{prop}} \cdot M_u \\
 &= \frac{\frac{1}{12}(0,7)(13)^3}{809,33} \cdot 316406,25 \\
 &= 50072,17\text{ kgcm} \\
 &= 5007217\text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{u\text{-sayap}} &= M_u - M_{u\text{-badan}} \\
 &= (316406,25 - 50072,17)\text{ kgcm} \\
 &= 266334,08\text{ kgcm} \\
 &= 26633408\text{ Nmm}
 \end{aligned}$$



## 1. Sambungan pelat sayap bawah

Direncanakan baut Ø19

$$f_u^b = 410 \text{ Mpa}$$

$$A_b = 283,53 \text{ mm}^2$$

Lubang perlemahan ( $d_p$ )

$$d_p = 19 \text{ mm} + 1,5 \text{ mm}$$

$$= 20,5 \text{ mm}$$

Pelat penyambung

$$t_p = 11 \text{ mm}$$

BJ41

$$f_u = 410 \text{ Mpa}$$

$$f_y = 250 \text{ Mpa}$$

Syarat jarak antar baut

$$3d_b \leq S \leq 15 \cdot t_p \text{ atau } 200 \text{ mm}$$

$$3 (19 \text{ mm}) \leq S \leq 15 (11 \text{ mm})$$

$$57 \text{ mm} \leq S \leq 165 \text{ mm}$$

Dipakai nilai  $S = 100 \text{ mm}$ Syarat jarak baut ke tepi pelat

$$1,5d_b \leq S \leq 12 \cdot t_p \text{ atau } 150 \text{ mm}$$

$$1,5 (19 \text{ mm}) \leq S \leq 12 (11 \text{ mm})$$

$$18 \text{ mm} \leq S \leq 132 \text{ mm}$$

Dipakai nilai  $S = 30 \text{ mm}$ 

Kuat nominal satu (1) baut

a. Kuat geser ( $V_d$ )

$$r_1 = 0,5 \text{ (tanpa ulir pada bidang geser)}$$

$$m = 1 \text{ (dua bidang geser)}$$

$$\phi V_n = \phi \cdot r_1 \cdot f_u^b \cdot A_b \cdot m$$

$$= 0,75 \cdot 0,5 \cdot 410 \cdot 283,53 \cdot 1$$

$$= 43592,54 \text{ N (menentukan)}$$

b. Kuat tumpu ( $R_d$ )

$$\begin{aligned}\phi R_n &= \phi \cdot 2,4d_b \cdot t_p \cdot f_u \\ &= 0,75 \cdot 2,4 \cdot 19 \cdot 11 \cdot 410 \\ &= 154242 \text{ N}\end{aligned}$$

Dipakai nilai kuat nominal satu (1) baut

$$\phi V_n = 43592,54 \text{ N}$$

Momen sayap

$$M_u = 26633408 \text{ Nmm}$$

$$\begin{aligned}T_u &= \frac{M_u}{h} \\ &= \frac{26633408}{130} \\ &= 204872,37 \text{ N}\end{aligned}$$

Jumlah baut yang diperlukan

$$\begin{aligned}n &= \frac{T_u}{\phi V_n} \\ &= \frac{204872,37}{43592,54} \\ &= 4,7 \text{ buah} \approx 6 \text{ buah}\end{aligned}$$

2. Sambungan pelat badan

Direncanakan baut Ø19

$$f_u^b = 410 \text{ Mpa}$$

$$A_b = 283,53 \text{ mm}^2$$

Lubang perlemahan ( $d_p$ )

$$\begin{aligned}d_p &= 19 \text{ mm} + 1,5 \text{ mm} \\ &= 20,5 \text{ mm}\end{aligned}$$

Dua (2) deret,  $\mu = 100 \text{ mm}$

Pelat penyambung

$$t_p = 7 \text{ mm}$$

BJ41

$$f_u = 410 \text{ Mpa} \quad f_y = 250 \text{ Mpa}$$

Syarat jarak antar baut

|           |        |   |                                 |
|-----------|--------|---|---------------------------------|
| $3d_b$    | $\leq$ | S | $\leq 15 \cdot t_p$ atau 200 mm |
| 3 (19 mm) | $\leq$ | S | $\leq 15$ (7 mm)                |
| 57 mm     | $\leq$ | S | $\leq 105$ mm                   |

Dipakai nilai  $S = 70$  mm

Syarat jarak baut ke tepi pelat

|            |        |   |                                 |
|------------|--------|---|---------------------------------|
| $1,5d_b$   | $\leq$ | S | $\leq 12 \cdot t_p$ atau 150 mm |
| 1,5(19 mm) | $\leq$ | S | $\leq 12$ (11 mm)               |
| 18 mm      | $\leq$ | S | $\leq 132$ mm                   |

Dipakai nilai  $S = 30$  mm

Kuat nominal satu (1) baut

a. Kuat geser ( $V_d$ )

$$r_1 = 0,5 \text{ (tanpa ulir pada bidang geser)}$$

$$m = 2 \text{ (dua bidang geser)}$$

$$\begin{aligned}\phi V_n &= \phi \cdot r_1 \cdot f_u^b \cdot A_b \cdot m \\ &= 0,75 \cdot 0,5 \cdot 410 \cdot 283,53 \cdot 2 \\ &= 87185,09 \text{ N (menentukan)}\end{aligned}$$

b. Kuat tumpu ( $R_d$ )

$$\begin{aligned}\phi R_n &= \phi \cdot 2,4d_b \cdot t_p \cdot f_u \\ &= 0,75 \cdot 2,4 \cdot 19 \cdot 7 \cdot 410 \\ &= 98154 \text{ N}\end{aligned}$$

Dipakai nilai kuat nominal satu (1) baut

$$\phi V_n = 87185,09 \text{ N}$$

Momen yang bekerja pada titik berat sambungan badan

$$\begin{aligned}Mu_{tot} &= Mu_{badan} + Pu \cdot e \\ &= 769,20 + 14625 \cdot 0,007 \\ &= 871,58 \text{ kgm} \\ &= 871580 \text{ Nmm}\end{aligned}$$

Jumlah baut yang diperlukan

$$n = \sqrt{\frac{6M_{\text{tot}}}{\mu \cdot (R_u \cdot P_o)}}$$

Dimana :

N = jumlah baut

$M_{\text{tot}}$  = Momen total

$\mu$  = Jarak verikal baut  
= 100 mm

$P_o$  = Kapasitas baut

Selain beban momen, sambungan memikul beban  $P_o$ , maka  $R_u$  direduksi 0,7.

Susunan baut direncanakan lebih dari satu (1) deret, maka  $R_u$  dinaikkan 1,2

(Modul Struktur Baja I – Sambungan Baut)

$$n = \sqrt{\frac{6.871580}{100 \cdot (0,7 \cdot 1,2 \cdot 87185,09)}} \\ = 0,85 \text{ buah} \approx 4 \text{ buah}$$

Akibat  $P_u$

$$K_{uv1} = \frac{P_u}{n} = \frac{14625}{4} \\ = 3656,25 \text{ kg} \\ = 36562,5 \text{ N}$$

Akibat  $M_u$

$$\Sigma(x^2 + y^2) = 4 \cdot (52) + 4 \cdot (52) \\ = 200 \text{ cm}^2$$

$$K_{uv2} = \frac{M_{UT} \cdot x}{\Sigma(x^2 + y^2)} = \frac{871580.4}{200} \\ = 174,32 \text{ N}$$

$$K_{uh} = \frac{M_{UT} \cdot y}{\sum (x^2 + y^2)} = \frac{871580.4}{200}$$

$$= 174,32 \text{ N}$$

$$K_{utot} = \sqrt{(\sum K_{uv})^2 + (\sum K_{uh})^2}$$

$$= \sqrt{(36562,5 + 174,32)^2 + (174,32)^2}$$

$$= 36737,23 \text{ N} < \phi V_d = 87185,09 \text{ N}$$

Cek kemampuan penampang setelah ada sambungan baut berdasarkan kuat putus :

$$A_n = A_s - (n_{\text{baris-baut}} \cdot t \cdot d_p)$$

$$= 3157 \text{ mm}^2 - ((2.11 + 2.7) \cdot 20,5) \text{ mm}^2$$

$$= 2419 \text{ mm}^2$$

$$\phi N_n = \phi \cdot f_u \cdot A_e$$

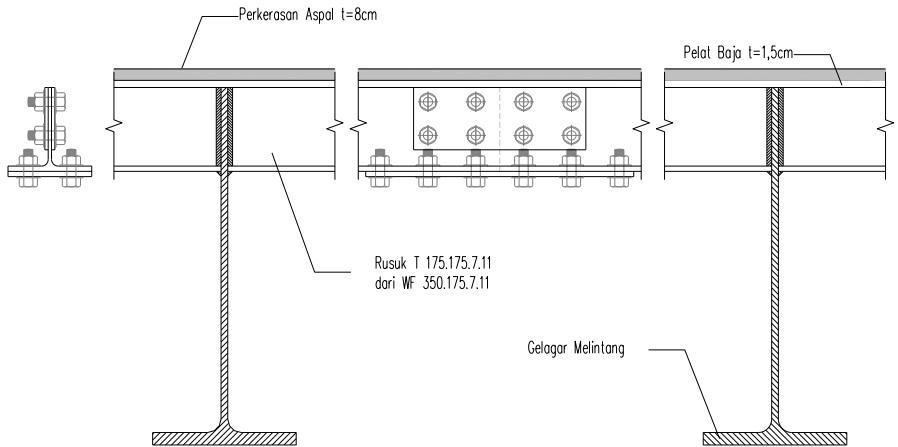
$$= 0,75 \cdot 410 \text{ N/mm}^2 \cdot 2419 \text{ mm}^2$$

$$= 159657,4 \text{ N}$$

$$\phi N_n > N_u \dots (\text{OK})$$

$$159657,4 \text{ N} > 93297,39 \text{ N}$$

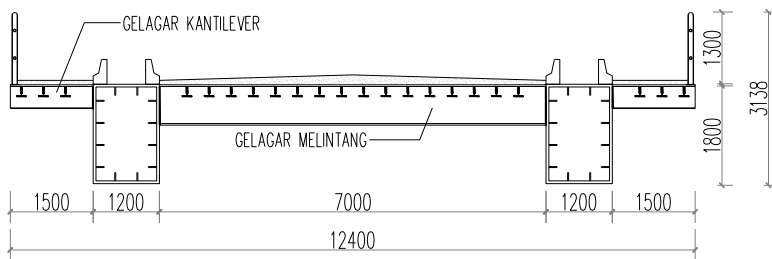
Berikut ilustrasi sambungan pelat dengan rusuk dapat dilihat pada Gambar 4.18.



**Gambar 4.18** Sambungan balok pada rusuk  
(dalam mm)

### 4.3. Gelagar Melintang & Gelagar Kantilever

Di bab ini akan membahas gelagar yang akan direncanakan yaitu gelagar melintang dan gelagar melintang. Gelagar melintang sendiri akan menyalurkan beban yang bekerja pada rusuk, lantai kendaraan dan beban lain ke struktur utama yaitu *box girder*. Untuk gelagar melintang akan menerima beban dari rusuk, lantai kendaraan yang berupa beban hidup pejalan kaki dan beban lainnya. Berikut ilustrasi potongan melintang pada Gambar 4.19



**Gambar 4.19** Gelagar melintang dan gelagar kantilever  
(dalam milimeter)

#### 4.3.1. Gelagar Melintang

Dari hasil preliminary desain didapat data perencanaan profil untuk gelagar melintang WF 800.300.14.26 diganti dengan profil T 700.300.15.28

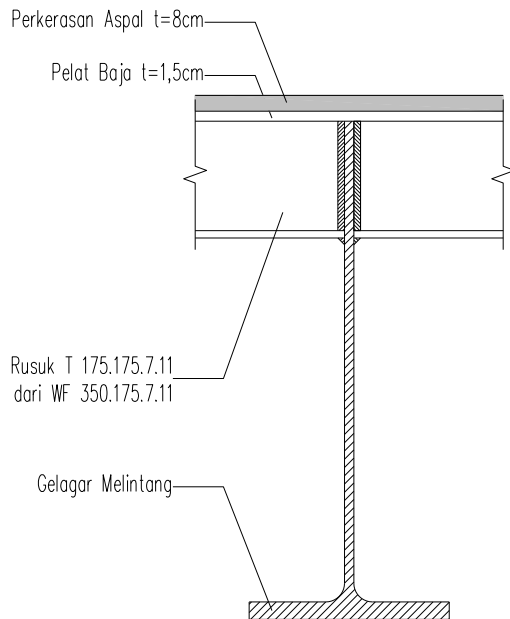
|       |                              |       |                           |
|-------|------------------------------|-------|---------------------------|
| $d$   | $= 700 \text{ mm}$           | $t_w$ | $= 15 \text{ mm}$         |
| $b_f$ | $= 300 \text{ mm}$           | $t_f$ | $= 28 \text{ mm}$         |
| $A$   | $= 606,8 \text{ cm}^2$       | $w$   | $= 476,36 \text{ kg/m}$   |
| $I_x$ | $= 337384 \text{ cm}^4$      | $i_x$ | $= 23,5798 \text{ cm}$    |
| $I_y$ | $= 3376886 \text{ cm}^4$     | $i_y$ | $= 74,5994 \text{ cm}$    |
| $S_x$ | $= 7423 \text{ cm}^3$        | $Z_x$ | $= 5753117 \text{ mm}^3$  |
| $S_y$ | $= 34067,8 \text{ cm}^3$     | $Z_y$ | $= 22512570 \text{ mm}^3$ |
| $E_s$ | $= 2 \cdot 10^5 \text{ MPa}$ |       |                           |

sifat mekanis baja struktural

BJ  $= 41$

$F_u = 410 \text{ MPa}$        $F_y = 250 \text{ MPa}$

Berikut ini merupakan potongan gelagar melintang dapat dilihat pada Gambar 4.20.



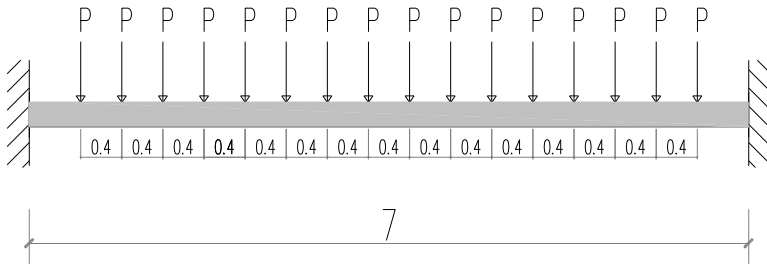
**Gambar 4.20** Potongan gelagar melintang (dalam mm)

#### 4.3.1.1. Pembebanan

##### 1) Beban Mati

Berikut ilustrasi beban yang diterima gelagar melintang dapat dilihat pada Gambar 4.21. Pada desain ini sambungan gelagar melintang terhadap gelagar utama diasumsikan sebagai perletakan jepit.



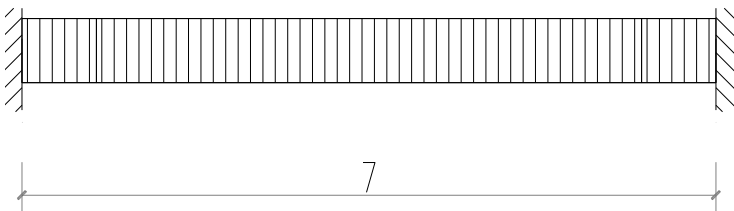


**Gambar 4.21** Pembebanan gelagar melintang (dalam m)

- a) Berat sendiri profil gelagar melintang  
 $W = 76,34 \text{ kg/m} \cdot 1,1$   
 (faktor beban SNI 1725-2016 pasal 7.2)  
 $= 523,97 \text{ kg/m}$   
 $= 5,24 \text{ kN/m}$   
 Faktor beban = 1,1
- b) Beban dari rusuk dan pelat lantai kendaraan  
 $P = q \cdot 3 \text{ m}$   
 $= 143,56 \text{ kg/m} \cdot 3 \text{ m}$   
 $= 431 \text{ kg}$   
 $= 4,31 \text{ kN}$   
 Faktor beban = 2

2) Beban Hidup

Beban hidup yang bekerja berupa BTR + BGT, dapat dilihat pada Gambar 4.22 berikut ini :



**Gambar 4.22** Beban hidup (BTR+BGT) max pada gelagar melintang (dalam meter)

## a) Beban Terbagi Rata (BTR)

Untuk  $L \leq 30 \text{ m}$  :  $q = 9 \text{ kPa}$

Untuk  $L > 30 \text{ m}$  :  $q = 9,0 \left( 0,5 + \frac{15}{L} \right) \text{ kPa}$

(SNI 1725-2016 pasal 8.3.1)

Karena  $L$  pada desain ini = 147 m. maka

$$q = 9,0 \left( 0,5 + \frac{15}{147} \right) \text{ kPa}$$

$$= 5,42 \text{ kPa}$$

$$= 5,42 \text{ kN/m}^2$$

$$q = q_{\text{BTR}} \cdot \lambda \text{ (jarak gelagar melintang)}$$

$$= 5,2 \text{ kN/m}^2 \cdot 3\text{m}$$

$$= 16,26 \text{ kN/m}$$

Faktor beban = 2

## b) Beban Garis Terpusat (BGT)

Menurut SNI 1725-2016 pasal 6.3.1 besarnya BGT adalah 49 kN/m. Sesuai dengan bentang total 147 maka Faktor Beban Dinamis (FBD) pada Gambar 28 SNI 1725-2016 adalah 30%

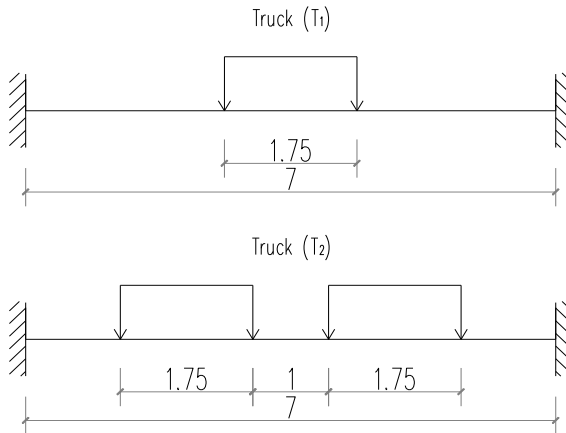
$$P = P_{\text{BGT}} (1 + \text{FBD})$$

$$= 49 \text{ kN/m} (1 + 30\%)$$

$$= 63,7 \text{ kN/m}$$

## c) Beban Truk (T)

Beban truk dianalisa sebagai beban berjalan selebar lantai kendaraan, berikut ilustrasi pembebanan dapat dilihat pada Gambar 4.23.



**Gambar 4.23** Beban Truk (T<sub>1</sub>) dan (T<sub>2</sub>) pada gelagar melintang (dalam meter)

Untuk pembebanan truk, FBD harus diambil sebesar 30% (SNI 1725-2016 ps. 8.6)

$$T = 112,5 \text{ kN/m (1+30\%)} \\ = 146,25 \text{ kN/m}$$

$$\text{Faktor beban} = 2$$

### 3) Beban pelaksanaan

Berdasarkan pada SNI 1725-2016 pasal 10.3 merupakan beban sementara yang mungkin bekerja pada struktur secara menyeluruh atau sebagian selama pelaksanaan. Pada desain ini diasumsikan sebesar 300 kg/m, dengan rincian :

1. Pekerja = 100 kg/m
  2. Peralatan, dll. = 200 kg/m
- $$\text{Total } q_{PL} = 300 \text{ kg/m} \\ = 3 \text{ kN/m}$$

$$\text{Faktor beban} = 1$$

## 4) Rekapitulasi beban

Berikut ini merupakan rekapitulasi beban yang akan bekerja di atas gelgar melintang pada Tabel 4.5.

**Tabel 4.5** Rekapitulasi pembebanan gelagar melintang

| Jenis Beban               | Beban      | F. Beban | Total       |
|---------------------------|------------|----------|-------------|
| Beban Mati (DL)           |            |          |             |
| Berat Sendiri             | 5.24 kN/m  | 1.1      | 5.76 kN/m   |
| Berat Rusuk, dll          | 4.31 kN    | 2        | 8.61 kN     |
| Beban Hidup (LL)          |            |          |             |
| Beban BTR <sub>100%</sub> | 16.26 kN/m | 2        | 32.51 kN/m  |
| Beban BGT <sub>100%</sub> | 63.70 kN/m | 1        | 63.70 kN/m  |
| Beban Truck               | 146.3 kN/m | 2        | 292.50 kN/m |
| Beban Pelaksanaan (PLL)   |            |          |             |
| Beban Pelaksanaan         | 3 kN/m     | 1        | 3.00 kN/m   |

## 5) Kombinasi pembebanan

Berdasarkan pada SNI 1725-2016 Tabel 1, untuk mendapatkan pengaruh paling kritis perlu untuk mengkombinasikan beban berdasarkan kondisi ultimit. Berikut dapat dilihat pada Tabel 4.6

**Tabel 4.6** Kombinasi pembebanan

| Kombinasi | Jenis Beban yang dikombinasikan |
|-----------|---------------------------------|
| Komb. 1   | DL + PLL                        |
| Komb. 2   | DL + LL (BTR+BGT)               |
| Komb. 3   | DL + LL(T <sub>1</sub> )        |
| Komb. 4   | DL + LL(T <sub>2</sub> )        |

#### 4.3.1.2. Hasil Analisa Gaya Dalam

Analisa gaya dalam untuk gelagar melintang menggunakan program bantu MIDAS CIVIL V2011. Struktur dimodelkan sebagai balok pada dua tumpuan dengan panjang 7m. Berikut hasil analisa dapat dilihat pada Tabel 4.7.

**Tabel 4.7** Hasil analisa struktur dengan MIDAS CIVIL V2011

| Load               | Shear-z (kN) | Moment-y (kN.m) |
|--------------------|--------------|-----------------|
| DL + PLL           | -87.12       | -107.37         |
| DL + PLL           | 87.12        | -107.37         |
| DL + LL ( BTR+BGT) | -636.31      | -748.08         |
| DL + LL ( BTR+BGT) | 636.31       | -748.08         |
| DL + LL (T1)       | -369.12      | -582.19         |
| DL + LL (T1)       | 369.12       | -582.19         |
| DL + LL (T2)       | -651.86      | -962            |
| DL + LL (T2)       | 671.39       | -965.95         |

Dari hasil analisa struktur diatas dapat dilihat bahwa kombinasi 4 lebih menentukan baik pada pengaruh momen maupun gaya geser.

#### 4.3.1.3. Analisa Kapasitas

##### a. Analisa Kapasitas Gelagar Melintang

Analisa kapasitas pada gelagar dilakukan guna mengetahui kuat lentur, geser, dan lendutan, Direncanakan menggunakan profil T 700.300.15.28.

|                |                           |                |                            |
|----------------|---------------------------|----------------|----------------------------|
| d              | = 700 mm                  | t <sub>w</sub> | = 15 mm                    |
| b <sub>f</sub> | = 300 mm                  | t <sub>f</sub> | = 28 mm                    |
| A              | = 606,8 cm <sup>2</sup>   | w              | = 476,36 kg/m              |
| I <sub>x</sub> | = 337384 cm <sup>4</sup>  | i <sub>x</sub> | = 23,5798 cm               |
| I <sub>y</sub> | = 3376886cm <sup>4</sup>  | i <sub>y</sub> | = 74,5994 cm               |
| S <sub>x</sub> | = 7423 cm <sup>3</sup>    | Z <sub>x</sub> | = 5753117 mm <sup>3</sup>  |
| S <sub>y</sub> | = 34067,8 cm <sup>3</sup> | Z <sub>y</sub> | = 22512570 mm <sup>3</sup> |
| E <sub>s</sub> | = 2. 10 <sup>5</sup> MPa  |                |                            |

sifat mekanis baja struktural

$$B_J = 41$$

$$F_u = 410 \text{ MPa}$$

$$F_y = 250 \text{ MPa}$$

b. Kontrol Analisa Lentur

1) Kontrol Tekuk Lokal (SNI 1729-2015 B4.1)

Sayap

$$\begin{aligned}\lambda &= \frac{b_f}{2t_f} \\ &= \frac{300\text{mm}}{2.28\text{mm}} = 5,36\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\lambda_p &= 0,38 \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}} \\ &= 0,38 \cdot \sqrt{\frac{200000}{250}} = 33,94\end{aligned}$$

Badan

$$\begin{aligned}\lambda &= \frac{h}{t_w} = \frac{d}{t_w} \\ &= \frac{700\text{mm}}{15\text{mm}} \\ &= 46,67\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\lambda_p &= 0,84 \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}} \\ &= 0,84 \cdot \sqrt{\frac{200000}{250}} = 50,91\end{aligned}$$

Karena nilai  $\lambda < \lambda_p$ , penampang kompak maka kuat lentur nominal penampang ( $M_n$ ) =  $M_p = Z_x \cdot F_y$

$$M_n = Z_x \cdot F_y$$

$$\begin{aligned}
 &= 57653117 \text{ mm}^3 \cdot 250 \text{ N/mm}^2 \\
 &= 143279300 \text{ Nmm} \\
 &= 1437,93 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

2) Kontrol Tekuk Lateral

$$L_b = 400 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}
 L_p &= 1,76 \cdot i_y \sqrt{\frac{E}{F_y}} \\
 &= 1,76 \cdot 745,994 \sqrt{\frac{2 \cdot 10^5}{250}} \\
 &= 37135,82 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Karena  $L_b < L_p$  maka termasuk bentang pendek maka kuat nominal komponen struktur terhadap momen lentur harus memenuhi persamaan berikut.

$$M_n = M_p \leq 1,5 M_y$$

$$\begin{aligned}
 M_y &= S_x \cdot F_y \\
 &= 7423 \cdot 10^3 \text{ mm}^3 \cdot 250 \text{ N/mm}^2 \\
 &= 1,86 \cdot 10^8 \text{ Nmm} \\
 &= 1855,77 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$M_n = 1437,93 \text{ kNm} > 1,5 \cdot M_y = 2783,65 \text{ kNm}$$

Maka yang dipakai adalah  $M_n = 1437,93 \text{ kNm}$

3) Kontrol Kapasitas Momen

$$\phi M_n = 0,9 \cdot 1437,93 \text{ kNm}$$

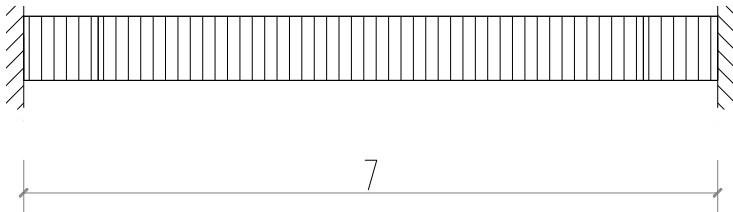
$$= 1294,45 \text{ kNm} > M_u = 965,95 \text{ kNm} \dots (\text{OK})$$

Maka penampang balok memenuhi kekuatan lentur yang terjadi.

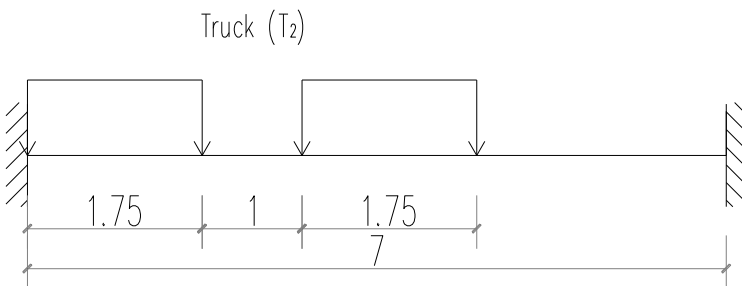
c. Kontrol Kapasitas Geser

Kontrol kapasitas geser direncanakan berdasarkan beban maksimum pada kombinasi dua ( $DL + LL(\text{BTR} + \text{BGT})$ ) dan kombinasi empat ( $DL + LL(\text{T}_2)$ ). Untuk Beban Truk agar mendapatkan gaya geser maksimal pada gelagar

melintang maka beban truk berada ditepi. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 4.24 dan Gambar 4.25.



**Gambar 4.24** Beban geser max pada gelagar melintang akibat beban BGT + BTR (dalam meter)



**Gambar 4.25** Gaya geser akibat beban Truk (dalam m)

Dari analisa struktur didapat gaya geser, lihat Tabel 4.8 sebagai berikut :

**Tabel 4.8** Hasil analisa gaya geser (BTR + BGT)

| Load            | Shear-z (kN) | Moment-y (kN·m) |
|-----------------|--------------|-----------------|
| DL + LL (T2)    | -651.86      | -962            |
| DL + LL (T2)    | 671.39       | -965.95         |
| DL + LL (geser) | -598.14      | -836.61         |
| DL + LL (geser) | 432.61       | -695.99         |



Berdasarkan SNI 1729-2015 G2.1 (b) untuk badan dari semua profil simetris ganda dan profil simetris tunggal serta kanal lainnya, kecuali *PSB* bundar, koefisien geser badan,  $C_v$ , dapat ditentukan dengan persamaan berikut.

(i) Bila  $h/t_w \leq 1,10 \cdot \sqrt{k_v \cdot E / F_y}$

$$C_v = 1,0$$

(ii) Bila  $1,10 \cdot \sqrt{k_v \cdot E / F_y} < h/t_w < 1,37 \cdot \sqrt{k_v \cdot E / F_y}$

$$C_v = \frac{1,10 \cdot \sqrt{k_v \cdot E / F_y}}{h / t_w}$$

(iii) Bila  $h/t_w \geq 1,37 \cdot \sqrt{k_v \cdot E / F_y}$

$$C_v = \frac{1,10 \cdot E}{(h / t_w)^2 \cdot F_y}$$

Dimana :

$$k_v = 1,2 \text{ (untuk profil T)}$$

$$h/t_w = \frac{700}{15} = 46,67$$

$$1,10 \cdot \sqrt{k_v \cdot E / F_y} = 1,10 \cdot \sqrt{1,2 \cdot 20 \cdot 10^5 / 250} = 34,08$$

$$1,37 \cdot \sqrt{k_v \cdot E / F_y} = 1,37 \cdot \sqrt{1,2 \cdot 20 \cdot 10^5 / 250} = 42,45$$

Maka termasuk persamaan (iii)

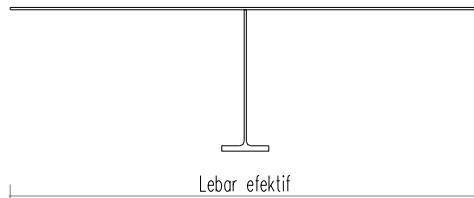
$$1,10 \cdot \sqrt{k_v \cdot E / F_y} < h/t_w < 1,37 \cdot \sqrt{k_v \cdot E / F_y}$$

Dimana  $C_v$  didapatkan

$$C_v = \frac{1,10 \cdot E}{(h / t_w)^2 \cdot F_y} = \frac{1,10 \cdot 2 \cdot 10^5}{(46,67)^2 \cdot 250} = 0,6612$$

Maka kuat geser  $\phi V_n$  dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$\begin{aligned}
 \phi V_n &= \phi \cdot 0,6 \cdot F_y \cdot A_w \cdot C_v \\
 &= \phi \cdot 0,6 \cdot F_y \cdot (d \cdot t_w) \\
 &= 0,9 \cdot 0,6 \cdot 250 \text{ N/mm}^2 \cdot (715,15) \text{ mm}^2 \cdot 0,6612 \\
 &= 937285,7 \text{ N} \\
 &= 937,3 \text{ kN} > V_u = 671,39 \text{ kN} \dots (\text{OK})
 \end{aligned}$$



**Gambar 4.26** Sketsa lebar efektif gelagar melintang

Lebar efektif

$$Be_1 \leq S$$

$$Be_2 \leq L/4$$

Dimana :

S = jarak antar gelagar

L = lebar jembatan

$$Be_1 \leq 300 \text{ cm}$$

$$Be_2 \leq 1240 \text{ cm} / 4$$

$$\leq 310 \text{ cm}$$

Maka lebar efektif pelat baja 300 cm

d. Interaksi Geser & Lentur

Apabila seluruh penampang balok diasumsikan menahan momen lentur, maka sesuai dengan RSNI T-03-2005 ps. 7.9.3 gelagar harus didesain mampu untuk menahan kombinasi lentur dan geser dengan persamaan sebagai berikut :

$$\frac{M_u}{\phi M_n} + 0,625 \frac{V_u}{\phi V_n} \leq 1,375$$

$$\frac{965,95}{1294,45} + 0,625 \frac{671,39}{147,9} \leq 1,375$$

$$1,04 < 1,375 \dots (\text{OK})$$

e. Kontrol Lendutan

Lendutan dianalisa berdasarkan kemampuan layan akibat beban hidup. Menurut RSNI T-03-2005 pasal 4.7.2 lendutan maksimum gelagar diatas dua tumpuan adalah  $L/800$ .

$$\begin{aligned} \text{Lendutan ijin} &= 7\text{m}/800 \\ &= 0,00875 \text{ m} \\ &= 8,75 \text{ mm} \end{aligned}$$

Dari hasil analisa struktur didapat nilai lendutan akibat tiap kombinasi, lihat Tabel 4.9 sebagai berikut :

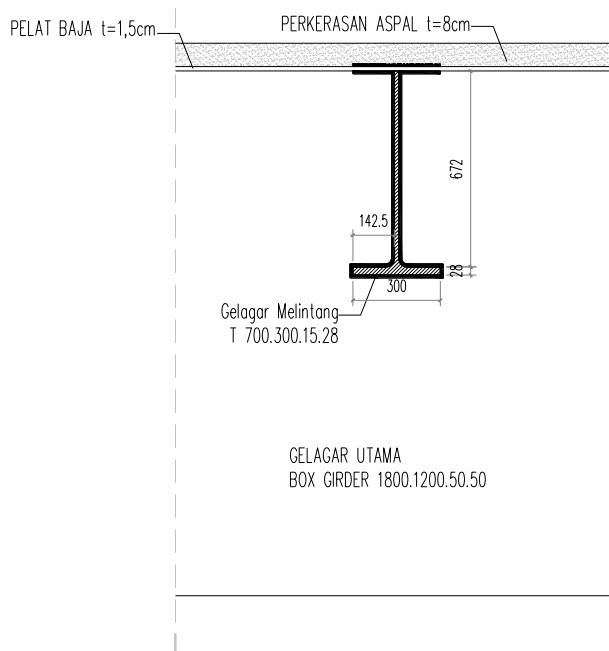
**Tabel 4.9** Hasil analisa lendutan gelagar melintang

| Load               | DX (mm) | DY (mm)   | DZ (mm)   |
|--------------------|---------|-----------|-----------|
| DL + PLL           | 0       | 0         | 0         |
| DL + PLL           | 0       | 0         | 0         |
| DL + PLL           | 0       | 0         | -0.376629 |
| DL + LL ( BTR+BGT) | 0       | 0         | 0         |
| DL + LL ( BTR+BGT) | 0       | 0         | 0         |
| DL + LL ( BTR+BGT) | 0       | 0         | -2.6148   |
| DL + LL (T1)       | 0       | 0         | 0         |
| DL + LL (T1)       | 0       | 0         | 0         |
| DL + LL (T1)       | 0       | 0         | -2.334901 |
| DL + LL (T2)       | 0       | 0         | 0         |
| DL + LL (T2)       | 0       | 0         | 0         |
| DL + LL (T2)       | 0       | -0.001335 | -3.623985 |

Dari nilai lendutan yang didapat akibat keempat kombinasi < lendutan ijin, maka profil T 715.300.15.28 dapat dipakai sebagai gelagar melintang.

#### 4.3.1.4. Sambungan Las

Sambungan gelagar melintang terhadap *box girder* berupa sambungan las. Dalam perhitungan sambungan ini akan di hitung kekuatan sambungan las.



**Gambar 4.27** Sambungan gelagar melintang ke *box girder*

$$\begin{aligned} V_u &= 671,39 \text{ kN} \\ M_u &= 965,95 \text{ kNm} \\ &= 9659500 \text{ kgcm} \end{aligned}$$

Digunakan mutu las :

$$E70_{xx} = 70 \text{ Kips}$$

Misal  $t_e = 1 \text{ cm}$

$$\begin{aligned} A &= (30 \text{ cm. } 1 \text{ cm. } 2) + (28,5 \text{ cm. } 1 \text{ cm. } 2) + (67,2 \text{ cm. } 1 \text{ cm. } 2) \\ &\quad + (2,8 \text{ cm. } 1 \text{ cm. } 2) \\ &= 257 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Titik berat las

$$2570 \cdot y_a = 285.15 + 285.687 + 300.715 + 2.672.57.5 + 2.28.701$$

$$\begin{aligned} y_a &= 934306 \text{ mm}^2 / 2570 \text{ mm} \\ &= 363,54 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} y_b &= 715 - y_a \\ &= 915 - 363,54 \\ &= 351,46 \text{ mm} \end{aligned}$$

Momen Inersia

$$\begin{aligned} I_x' &= I_x + A \cdot a_y^2 \\ &= ((1/12 \cdot 30 \cdot 1^3) + (30 \cdot 1 \cdot 36,354^2)) + ((1/12 \cdot 28,5 \cdot 1^3) + (28,5 \cdot 1 \cdot 34,854^2)) \\ &\quad + ((1/12 \cdot 28,5 \cdot 1^3) + (28,5 \cdot 1 \cdot 32,346^2)) + ((1/12 \cdot 30 \cdot 1^3) + (30 \cdot 1 \cdot 35,146^2)) \\ &\quad + 2 \cdot ((1/12 \cdot 1 \cdot 67,2^3) + (1 \cdot 67,2 \cdot 0,604^3)) + 2 \cdot ((1/12 \cdot 1 \cdot 2,8^3) + (1 \cdot 2,8 \cdot 33,746^3)) \\ &= 406972,7 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

Modulus penampang las

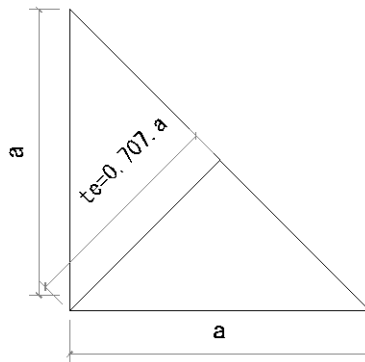
$$\begin{aligned} S_x &= I_x' / y_b \\ &= \frac{406972,7 \text{ cm}^4}{35,146 \text{ cm}} \\ &= 11579,59 \text{ kg/cm}^3 \end{aligned}$$

Akibat  $V_u$  :

$$\begin{aligned} f_v &= \frac{V_u}{A} \\ &= \frac{671,39100 \text{ kg}}{257 \text{ cm}^2} \\ &= 261,24 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

Akibat  $M_u$  :

$$\begin{aligned}
 f_h &= \frac{M_u}{S_x} \\
 &= \frac{9659500 \text{ kgcm}}{11579,59 \text{ cm}^3} \\
 &= 834,18 \text{ kg/cm}^2 \\
 f_{\text{total}} &= \sqrt{f_h^2 + f_v^2} \\
 &= \sqrt{834,18^2 + 261,24^2} \\
 &= 874,13 \text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$



**Gambar 4.28** Tebal efektif las sudut

$$\begin{aligned}
 \phi f_n &= \phi \cdot 0,6 \cdot E70xx \\
 &= 0,75 \cdot 0,6 \cdot 70 \cdot 70,3 \text{ kg/cm}^2 \\
 &= 2214,45 \text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 t_{e\text{-perlu}} &= \frac{f_{\text{total}}}{\phi f_n} \cdot 1 \text{ cm} \\
 &= \frac{874,13}{2214,45} \cdot 1 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

$$= 0,39\text{cm}$$

$$a = \frac{t_e}{0,707}$$

$$= 0,56 \text{ cm}$$

SNI 1729-2015 pasal J2b

- Untuk tebal las minimum ( $a_{\min}$ ):

$$13 \text{ mm} < t_{\text{profil}} \leq 19 \text{ mm}$$

$$a_{\min} = 6 \text{ mm}$$

- Untuk tebal las maksimum ( $a_{\max}$ ):

$$t_{\text{profil}} > 6 \text{ mm}$$

$$a_{\max} = t_{\text{profil}} - 2 \text{ mm}$$

$$a_{\max} = 13 \text{ mm}$$

dipakai  $a = 6 \text{ cm}$  dengan tebal efektif  $t_e = 4,3 \text{ mm}$

#### 4.3.1.5. Sambungan Baut

Sambungan baut dilakukan pada gelagar melintang dengan gelagar melintang pada jarak 110 cm dari tumpuan. Maka pada gelagar melintang diputus pada jarak tersebut untuk mempermudah proses pelaksanaan.

$$P_u = 67139 \text{ kg}$$

$$M_u = 2539300 \text{ kg.cm (pada jarak 110cm dari tumpuan)}$$

Pembagian momen

$$M_{u\text{-badan}} = \frac{I_{bd}}{I_{prop}} \cdot M_u$$

$$= \frac{1}{12} (1,5)(67,2)^3$$

$$= \frac{337384,3}{337384,3} \cdot 2539300$$

$$= 285500,57 \text{ kgcm}$$

$$= 28550057 \text{ Nmm}$$

$$\begin{aligned}
 M_{u-\text{sayap}} &= M_u - M_{u-\text{badan}} \\
 &= (2539300 - 285500,57) \text{ kgcm} \\
 &= 2253799,43 \text{ kgcm} \\
 &= 225379943 \text{ Nmm}
 \end{aligned}$$

1. Sambungan pelat sayap bawah

Direncanakan baut Ø24

$$f_u^b = 410 \text{ Mpa}$$

$$A_b = 452,39 \text{ mm}^2$$

Lubang perlemahan ( $d_p$ )

$$d_p = 24 \text{ mm} + 1,5 \text{ mm}$$

$$= 25,5 \text{ mm}$$

Pelat penyambung

$$t_p = 28 \text{ mm}$$

BJ41

$$F_u = 410 \text{ Mpa}$$

$$F_y = 250 \text{ Mpa}$$

Syarat jarak antar baut

$$3d_b \leq S \leq 15 \cdot t_p \text{ atau } 200 \text{ mm}$$

$$3 (24 \text{ mm}) \leq S \leq 15 (28 \text{ mm})$$

$$72 \text{ mm} \leq S \leq 420 \text{ mm}$$

Dipakai nilai  $S = 100 \text{ mm}$

Syarat jarak baut ke tepi pelat

$$1,5d_b \leq S \leq 12 \cdot t_p \text{ atau } 150 \text{ mm}$$

$$1,5(24 \text{ mm}) \leq S \leq 12 (34 \text{ mm})$$

$$36 \text{ mm} \leq S \leq 408 \text{ mm}$$

Dipakai nilai  $S = 50 \text{ mm}$

Kuat nominal satu (1) baut

a. Kuat geser ( $V_d$ )

$$r_1 = 0,5 \text{ (tanpa ulir pada bidang geser)}$$

$$m = 1 \text{ (dua bidang geser)}$$

$$\phi V_n = \phi \cdot r_1 \cdot f_u^b \cdot A_b \cdot m$$



$$= 0,75 \cdot 0,5 \cdot 410 \cdot 452,39 \cdot 1$$

$$= 69554,86 \text{ N (menentukan)}$$

b. Kuat tumpu ( $R_d$ )

$$\phi R_n = \phi \cdot 2,4d_b \cdot t_p \cdot f_u$$

$$= 0,75 \cdot 2,4 \cdot 24 \cdot 28 \cdot 410$$

$$= 495936 \text{ N}$$

Dipakai nilai kuat nominal satu (1) baut

$$\phi V_n = 69554,86 \text{ N}$$

Momen sayap

$$M_u = 225379943 \text{ Nmm}$$

$$T_u = \frac{M_u}{h}$$

$$= \frac{225379943}{672}$$

$$= 335386,82 \text{ N}$$

Jumlah baut yang diperlukan

$$n = \frac{T_u}{\phi V_n}$$

$$= \frac{335386,82}{69554,86}$$

$$= 4,82 \text{ buah} \approx 6 \text{ buah}$$

2. Sambungan pelat badan

Direncanakan baut  $\phi 24$

$$f_u^b = 410 \text{ Mpa}$$

$$A_b = 452,39 \text{ mm}^2$$

Lubang perlemahan ( $d_p$ )

$$d_p = 24 \text{ mm} + 1,5 \text{ mm}$$

$$= 25,5 \text{ mm}$$

Pelat penyambung

$$t_p = 15 \text{ mm}$$

BJ41

$$F_u = 410 \text{ Mpa}$$

$$F_y = 250 \text{ Mpa}$$

Syarat jarak antar baut

$$3d_b \leq S \leq 15 \cdot t_p \text{ atau } 200 \text{ mm}$$

$$3 (24 \text{ mm}) \leq S \leq 15 (15 \text{ mm})$$

$$72 \text{ mm} \leq S \leq 225 \text{ mm}$$

Dipakai nilai  $S = 100 \text{ mm}$

Syarat jarak baut ke tepi pelat

$$1,5d_b \leq S \leq 12 \cdot t_p \text{ atau } 150 \text{ mm}$$

$$1,5(24 \text{ mm}) \leq S \leq 12 (15 \text{ mm})$$

$$36 \text{ mm} \leq S \leq 180 \text{ mm}$$

Dipakai nilai  $S = 50 \text{ mm}$

Kuat nominal satu (1) baut

a. Kuat geser ( $V_d$ )

$$r_1 = 0,5 \text{ (tanpa ulir pada bidang geser)}$$

$$m = 2 \text{ (dua bidang geser)}$$

$$\phi V_n = \phi \cdot r_1 \cdot f_u^b \cdot A_b \cdot m$$

$$= 0,75 \cdot 0,5 \cdot 410 \cdot 452,39 \cdot 2$$

$$= 139109,72 \text{ N (menentukan)}$$

b. Kuat tumpu ( $R_d$ )

$$\phi R_n = \phi \cdot 2,4 d_b \cdot t_p \cdot f_u$$

$$= 0,75 \cdot 2,4 \cdot 24 \cdot 15 \cdot 410$$

$$= 265680 \text{ N}$$

Dipakai nilai kuat nominal satu (1) baut

$$\phi V_n = 139109,72 \text{ N}$$

Momen yang bekerja pada titik berat sambungan badan

$$M_{\text{utot}} = M_{u\text{badan}} + P_u \cdot e$$

$$= 25393 + 67139 \cdot 0,015$$

$$= 26400,85 \text{ kgm}$$

$$= 26400085 \text{ Nmm}$$

Jumlah baut yang diperlukan

$$n = \sqrt{\frac{6M_{\text{utot}}}{\mu R_u}}$$

Dimana :

N = jumlah baut

$M_{\text{utot}}$  = Momen total

$\mu$  = Jarak verikal baut

= 100 mm

$P_o$  = Kapasitas baut

Selain beban momen, sambungan memikul beban  $P_u$ , maka  $R_u$  direduksi 0,7.

(Modul Struktur Baja I – Sambungan Baut)

$$n = \sqrt{\frac{6.26400085}{100 \cdot (0,7 \cdot 139109,72)}}$$

$$= 4,03 \text{ buah} \approx 5 \text{ buah}$$

Akibat  $P_u$

$$K_{uv1} = \frac{P_u}{n} = \frac{67139}{5}$$

$$= 13427,8 \text{ kg}$$

$$= 13278 \text{ N}$$

Akibat  $M_u$

$$\Sigma(x^2 + y^2) = 5 \cdot (5^2) + 4 \cdot ((10^2) + (20^2))$$

$$= 2125 \text{ cm}^2$$

$$K_{uv2} = \frac{M_{UT} \cdot x}{\Sigma(x^2 + y^2)} = \frac{26400085.5}{2125}$$

$$= 621,18 \text{ N}$$

$$K_{uh} = \frac{M_{UT} \cdot y}{\Sigma(x^2 + y^2)} = \frac{26400085.20}{2125}$$

$$= 2484,71 \text{ N}$$

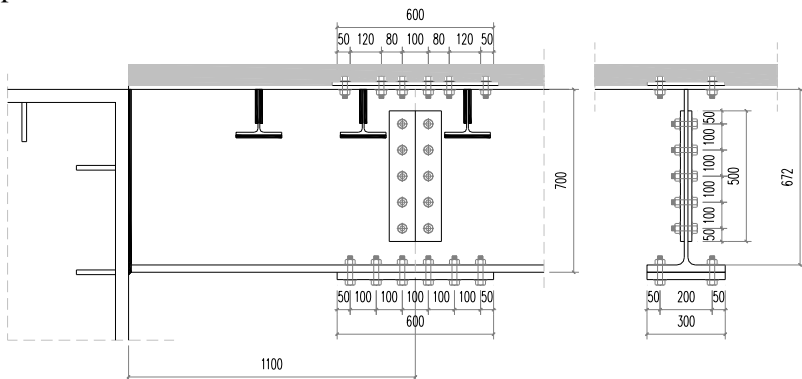
$$\begin{aligned}
 K_{\text{tot}} &= \sqrt{(\sum K_{uv})^2 + (\sum K_{uh})^2} \\
 &= \sqrt{(13278 + 621,18)^2 + (2484,71)^2} \\
 &= 134922,06 \text{ N} < \phi V_n = 139109,72 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Cek kemampuan penampang setelah ada sambungan baut berdasarkan kuat putus :

$$\begin{aligned}
 A_n &= A_s - (n_{\text{baris-baut}} \cdot t \cdot d_p) \\
 &= 60680 \text{ mm}^2 - ((1.28 + 1.15 + 5.15) \cdot 25,5) \text{ mm}^2 \\
 &= 57671 \text{ mm}^2 \\
 \phi N_n &= \phi \cdot F_u \cdot A_e \\
 &= 0,75 \cdot 410 \text{ N/mm}^2 \cdot 57671 \text{ mm}^2 \\
 &= 17733832,5 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \phi N_n &> N_u \dots (\text{OK}) \\
 17733832,5 \text{ N} &> 335386,82 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Berikut ilustrasi pada gelagar melintang dapat dilihat pada Gambar 4.29.



**Gambar 4.29** Sambungan gelagar melintang

### 4.3.2. Gelagar Kantilever

Hasil preliminary desain didapat data perencanaan profil untuk gelagar kantilever WF 400.200.8.13, diganti dengan profil T 400.200.8.13 dengan data sebagai berikut :

|                |                          |                |                           |
|----------------|--------------------------|----------------|---------------------------|
| d              | = 400 mm                 | t <sub>w</sub> | = 8 mm                    |
| b <sub>f</sub> | = 200 mm                 | t <sub>f</sub> | = 13 mm                   |
| A              | = 56,96 cm <sup>2</sup>  | w              | = 44,71 kg/m              |
| I <sub>x</sub> | = 9521 cm <sup>4</sup>   | i <sub>x</sub> | = 12,93 cm                |
| I <sub>y</sub> | = 868 cm <sup>4</sup>    | i <sub>y</sub> | = 3,90 cm                 |
| S <sub>x</sub> | = 608 cm <sup>3</sup>    | Z <sub>x</sub> | = 1131152 mm <sup>3</sup> |
| S <sub>y</sub> | = 136,19 cm <sup>3</sup> | Z <sub>y</sub> | = 265984 mm <sup>3</sup>  |
| E <sub>s</sub> | = 2. 10 <sup>5</sup> MPa |                |                           |

sifat mekanis baja struktural

|                |           |
|----------------|-----------|
| BJ             | = 41      |
| F <sub>u</sub> | = 410 MPa |
| F <sub>y</sub> | = 250 MPa |

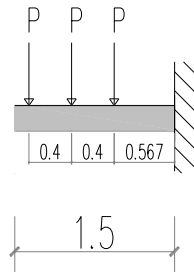
#### 4.3.2.1. Pembebanan

(1)Beban Mati

- Berat sendiri gelagar kantilever  
 $W = 44,7 \text{ kg/m.}$   
 $= 0,447 \text{ kN/m}$
- Beban dari rusuk dan pelat lantai kendaraan  
 $P = q. 3 \text{ m}$   
 $= 143,56 \text{ kg/m. } 3 \text{ m}$   
 $= 431 \text{ kg}$   
 $= 4,31 \text{ kN}$

Faktor beban = 1,1

Pada desain ini sambungan gelagar kantilever terhadap gelagar utama diasumsikan sebagai perletakan jepit bebas. Berikut ilustrasi pembebanan dapat dilihat pada Gambar 4.30.



**Gambar 4.30** Ilustrasi beban mati pada gelagar kantilever (dalam m)

(2) Beban mati Tambahan

Beban tambahan berupa tiang sandaran, tiang lampu, ditahan oleh gelagar kantilever.

- P tiang sandaran

$$\begin{aligned}
 \text{Berat pipa (q)} &= 2,5,4 \text{ kg/m} \cdot 3 \text{ m} \\
 &= 32,4 \text{ kg} \\
 \text{Berat tiang} &= 9,3 \text{ kg/m} \cdot 1,3 \text{ m} \\
 &= 12 \text{ kg} \\
 \text{P total} &= 32,4 \text{ kg} + 12 \text{ kg} \\
 &= 44 \text{ kg} \\
 &= 0,44 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

- P Tiang Lampu

Pipa 6" dengan tebal 7,1 mm

$$\begin{aligned}
 P &= 27,7 \text{ kg/m} \cdot 9 \text{ m} \\
 &= 249 \text{ kg} \\
 &= 2,49 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Berat box lampu

$$W = 0,08 \text{ kN}$$

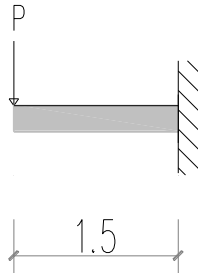
$$\begin{aligned}
 \text{Berat total} &= 2,49 \text{ kN} + 0,08 \text{ kN} \\
 &= 2,57 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Berat isi tiang diasumsikan 10% berat total

$$\begin{aligned}
 &= 2,57 \text{ kN} \cdot 0,1 \\
 &= 0,257 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P \text{ tiang} &= (2,57 + 0,257) \text{ kN} \\
 &= 2,83 \text{ kN} \\
 \text{Faktor beban} &= 2
 \end{aligned}$$

Berikut ilustrasi pembebanan dapat dilihat pada Gambar 4.31.



**Gambar 4.31** Ilustrasi beban mati tambahan pada gelagar kantilever (dalam m)

(3) Beban Hidup

Jembatan dengan komponen trotoar dengan lebar lebih dari 600mm direncanakan untuk memikul beban pejalan kaki 5 kPa (SNI 1725-2016 pasal 8.9)

$$\begin{aligned}
 W \text{ pejalan kaki} &= 5 \text{ kN/m}^2 \cdot 3\text{m} \\
 &= 15 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

$$\text{Faktor beban} = 1,8$$

(4) Beban Pelaksanaan

Berdasarkan pada SNI 1725-2016 pasal 10.3 merupakan beban sementara yang mungkin bekerja pada struktur secara menyeluruh atau sebagian selama pelaksanaan. Pada desain ini diasumsikan sebesar 300 kg/m, dengan rincian :

1. Pekerja = 100 kg/m
2. Peralatan, dll. = 200 kg/m
- Total  $q_{PL}$  = 300 kg/m
- = 3 kN/m

Faktor beban = 1

(5) Rekapitulasi Beban

Berikut akan ditampilkan rekapitulasi beban yang bekerja diatas gelagar melintang, dapat dilihat pada Tabel 4.10.

**Tabel 4.10** Rekapitulasi Pembebanan Gelagar Kantilever

| Jenis Beban               | Beban      | F. Beban | Total      |
|---------------------------|------------|----------|------------|
| Beban Mati (DL)           |            |          |            |
| Berat Sendiri             | 0.447 kN/m | 1.1      | 0.49 kN/m  |
| Berat Rusuk, dll          | 4.31 kN    | 2        | 8.61 kN    |
| Beban Mati Tambahan (ADL) |            |          |            |
| Tiang Sandaran            | 0.44 kN    | 2        | 0.89 kN    |
| Tiang Lampu               | 2.83 kN    | 2        | 5.67 kN    |
| Beban Hidup (LL)          |            |          |            |
| Pejalan kaki              | 15 kN/m    | 1.8      | 27.00 kN/m |
| Beban Pelaksanaan (PLL)   |            |          |            |
| Beban Pelaksanaan         | 3 kN/m     | 1        | 3.00 kN/m  |

(6) Kombisani Pembebanan

Berdasarkan pada SNI 1725-2016 Tabel 1, untuk mendapatkan pengaruh paling kritis perlu untuk mengkombinasikan beban berdasarkan kondisi ultimit. Berikut dapat dilihat pada Tabel 4.11

**Tabel 4.11** Kombinasi Pembebanan

| Kombinasi | Jenis Beban yang dikombinasikan |
|-----------|---------------------------------|
| Komb. 1   | DL + ADL + PLL                  |
| Komb. 2   | DL + ADL + LL                   |

#### 4.3.2.2. Hasil Analisa Gaya Dalam

Analisa gaya dalam untuk gelagar melintang menggunakan program bantu MIDAS CIVIL V2011. Struktur dimodelkan sebagai balok tumpuan jepit bebas dengan panjang 1,5m. Berikut hasil analisa dapat dilihat pada Tabel 4.12.



**Tabel 4.12** Hasil analisa gaya dalam gelagar kentilever

| Load           | Shear-z (kN) | Moment-y (kN·m) |
|----------------|--------------|-----------------|
| DL + ADL + PLL | 6.11         | 0               |
| DL + ADL + PLL | 35.52        | -40.16          |
| DL + ADL + LL  | 6.11         | 0               |
| DL + ADL + LL  | 76.02        | -70.53          |

#### 4.3.2.3. Analisa Kapasitas

##### a. Analisa Kapasitas Gelagar Kantilever

Analisa kapasitas pada gelagar dilakukan guna mengetahui kuat lentur, geser, dan lendutan, Direncanakan menggunakan profil WF 400.200.8.13, diganti dengan profil T 400.200.8.13 dengan data sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 d &= 400 \text{ mm} & t_w &= 8 \text{ mm} \\
 b_f &= 200 \text{ mm} & t_f &= 13 \text{ mm} \\
 A &= 56,96 \text{ cm}^2 & w &= 44,71 \text{ kg/m} \\
 I_x &= 9521 \text{ cm}^4 & i_x &= 12,93 \text{ cm} \\
 I_y &= 868 \text{ cm}^4 & i_y &= 3,90 \text{ cm} \\
 S_x &= 608 \text{ cm}^3 & Z_x &= 1131152 \text{ mm}^3 \\
 S_y &= 136,19 \text{ cm}^3 & Z_y &= 265984 \text{ mm}^3 \\
 E_s &= 2 \cdot 10^5 \text{ MPa} \\
 \text{sifat mekanis baja struktural} \\
 BJ &= 41 \\
 F_u &= 410 \text{ MPa} \\
 F_y &= 250 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

##### b. Kontrol Analisa Lentur

##### 1) Kontrol Tekuk Lokal (SNI 1729-2015 B4.1)

Sayap

$$\begin{aligned}
 \lambda &= \frac{b_f}{2t_f} \\
 &= \frac{200\text{mm}}{2 \cdot 13\text{mm}} = 7,69
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\lambda_p &= 0,38 \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}} \\ &= 0,38 \cdot \sqrt{\frac{200000}{250}} = 33,94\end{aligned}$$

Badan

$$\begin{aligned}\lambda &= \frac{h}{t_w} = \frac{d}{t_w} \\ &= \frac{340\text{mm}}{8\text{mm}} \\ &= 50\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\lambda_p &= 0,84 \cdot \sqrt{\frac{E}{F_y}} \\ &= 0,84 \cdot \sqrt{\frac{200000}{250}} = 50,91\end{aligned}$$

Karena nilai  $\lambda < \lambda_p$ , penampang kompak maka kuat lentur nominal penampang ( $M_n$ ) =  $M_p = Z_x \cdot F_y$

$$\begin{aligned}M_n &= Z_x \cdot F_y \\ &= 113152 \text{ mm}^3 \cdot 250 \text{ N/mm}^2 \\ &= 28278800 \text{ Nmm} \\ &= 282,788 \text{ kNm}\end{aligned}$$

## 2) Kontrol Tekuk Lateral

$$L_b = 400 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned}L_p &= 1,76 \cdot i_y \sqrt{\frac{E}{f_y}} \\ &= 1,76 \cdot 12,93 \sqrt{\frac{2 \cdot 10^5}{250}} \\ &= 6435,8 \text{ mm}\end{aligned}$$

Karena  $L_b < L_p$  maka termasuk bentang pendek. Nilai kuat nominal komponen struktur terhadap momen lentur harus memenuhi persamaan berikut.

$$M_n = M_p \leq 1,5M_y$$

$$\begin{aligned} M_y &= S_x \cdot F_y \\ &= 608 \cdot 10^3 \text{ mm}^3 \cdot 250 \text{ N/mm}^2 \\ &= 1,52 \cdot 10^8 \text{ Nmm} \\ &= 152 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$M_n = 283 \text{ kNm} > 1,5 \cdot M_y = 228,11 \text{ kNm}$$

Maka yang dipakai adalah  $M_n = 228,11 \text{ kNm}$

3) Kontrol Kapasitas Momen

$$\phi M_n = 0,9 \cdot 228,11 \text{ kNm}$$

$$= 205,3 \text{ kNm} > M_u = 70,53 \text{ kNm} \dots (\text{OK})$$

Maka penampang balok memenuhi kekuatan lentur yang terjadi.

c. Kontrol Kapasitas Geser

Berdasarkan SNI 1729-2015 G2.1 (b) untuk badan dari semua profil simetris ganda dan profil simetris tunggal serta kanal lainnya, kecuali *PSB* bundar, koefisien geser badan,  $C_v$ , dapat ditentukan dengan persamaan berikut.

$$(i) \text{ Bila } h/t_w \leq 1,10 \cdot \sqrt{k_v \cdot E / F_y}$$

$$C_v = 1,0$$

$$(ii) \text{ Bila } 1,10 \cdot \sqrt{k_v \cdot E / F_y} < h/t_w < 1,37 \cdot \sqrt{k_v \cdot E / F_y}$$

$$C_v = \frac{1,10 \cdot \sqrt{k_v \cdot E / F_y}}{h / t_w}$$

$$(iii) \text{ Bila } h/t_w \geq 1,37 \cdot \sqrt{k_v \cdot E / F_y}$$

$$C_v = \frac{1,10 \cdot E}{(h / t_w)^2 \cdot F_y}$$

Dimana :

$$K_v = 1,2 \text{ (untuk profil T)}$$

$$h/t_w = \frac{400}{8} = 50$$

$$1,10 \cdot \sqrt{k_v \cdot E / F_y} = 1,10 \cdot \sqrt{1,2 \cdot 20 \cdot 10^5 / 250} = 34,08$$

$$1,37 \cdot \sqrt{k_v \cdot E / F_y} = 1,37 \cdot \sqrt{1,2 \cdot 20 \cdot 10^5 / 250} = 42,45$$

Maka termasuk persamaan (iii)

$$1,10 \cdot \sqrt{k_v \cdot E / F_y} < h/t_w < 1,37 \cdot \sqrt{k_v \cdot E / F_y}$$

Dimana  $C_v$  didapatkan

$$C_v = \frac{1,10 \cdot E}{(h/t_w)^2 \cdot F_y} = \frac{1,10 \cdot 2 \cdot 10^5}{(46,67)^2 \cdot 250} = 0,6612$$

Maka kuat geser  $\phi V_n$  dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$\begin{aligned} \phi V_n &= \phi \cdot 0,6 \cdot F_y \cdot A_w \cdot C_v \\ &= \phi \cdot 0,6 \cdot F_y \cdot (d \cdot t_w) \cdot C_v \\ &= 0,9 \cdot 0,6 \cdot 250 \text{ N/mm}^2 \cdot (400,8) \text{ mm}^2 \cdot 0,6612 \\ &= 345250,15 \text{ N} \\ &= 345,3 \text{ kN} > V_u = 76,02 \text{ kN} \dots (\text{OK}) \end{aligned}$$

d. Interaksi Geser dan Lentur

Apabila seluruh penampang balok diasumsikan menahan momen lentur, maka menurut RSNI T-03-2005 ps. 7.9.3 gelagar harus didesain mampu untuk menahan kombinasi lentur dan geser dengan persamaan sebagai berikut :

$$\begin{aligned} \frac{M_u}{\phi M_n} + 0,625 \frac{V_u}{\phi V_n} &\leq 1,375 \\ \frac{70,53}{205,3} + 0,625 \frac{76,02}{432} &\leq 1,375 \end{aligned}$$

$$0,45 < 1,375 \dots (\text{OK})$$

e. Kontrol Lentutan

Lendutan dianalisa berdasarkan kemampuan layan akibat beban hidup. Menurut RSNI T-03-2005 ps. 4.7.3 lendutan maksimum gelagar diatas adalah  $L/375$ .

$$\begin{aligned}\text{Lendutan ijin} &= 1,5\text{m}/375 \\ &= 0,004 \text{ m} \\ &= 4 \text{ mm}\end{aligned}$$

Dari hasil analisa struktur didapat nilai lendutan akibat tiap kombinasi, lihat Tabel 4.12 sebagai berikut :

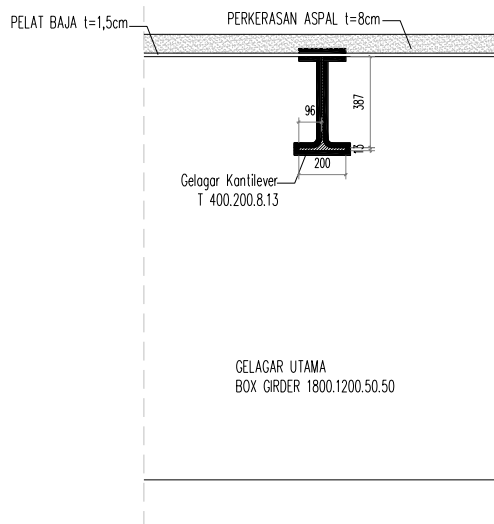
**Tabel 4.12** Hasil analisa lendutan gelagar melintang

| Load           | DX (mm) | DY (mm)  | DZ (mm)   |
|----------------|---------|----------|-----------|
| DL + ADL + PLL | 0       | 0        | 0         |
| DL + ADL + PLL | 0       | 0.351025 | -1.440115 |
| DL + ADL + LL  | 0       | 0        | 0         |
| DL + ADL + LL  | 0       | 0.567364 | -2.38511  |

Karena nilai lendutan akibat kedua kombinasi  $<$  lendutan ijin, maka profil T 400.200.8.13 dapat dipakai sebagai gelagar melintang.

#### 4.3.2.4. Sambungan Las

Sambungan gelagar melintang terhadap *box girder* berupa sambungan las. Dalam perhitungan sambungan ini akan di hitung kekuatan sambungan las.



**Gambar 4.32** Sambungan gekagar melintang ke *box girder*

$$\begin{aligned} V_u &= 76,02 \text{ kN} \\ M_u &= 70,53 \text{ kNm} \\ &= 705300 \text{ kgcm} \end{aligned}$$

Titik berat las

$$\begin{aligned} 1584 \cdot y_a &= 192.15 + 192.402 + 200.415 + 2.387.207,5 + \\ &\quad 2.13.408,5 \\ y_a &= 334290 \text{ mm}^2 / 1584 \text{ mm} \\ &= 211,04 \text{ mm} \\ y_b &= 415 - y_a \\ &= 415 - 211,04 \\ &= 203,96 \text{ mm} \end{aligned}$$

Digunakan mutu las :

$$E70_{xx} = 70 \text{ Kips}$$

Misal  $t_e = 1 \text{ cm}$

$$\begin{aligned} A &= (19,2 \text{ cm} \cdot 1 \text{ cm} \cdot 2) + (38,7 \text{ cm} \cdot 1 \text{ cm} \cdot 2) + \\ &\quad (1,3 \text{ cm} \cdot 1 \text{ cm} \cdot 2) + (200 \text{ cm} \cdot 1 \text{ cm} \cdot 2) \end{aligned}$$

$$= 158,4 \text{ cm}^2$$

Momen Inersia

$$\begin{aligned} I_x' &= I_x + A \cdot a_y^2 \\ &= ((1/12 \cdot 20 \cdot 1^3) + (20 \cdot 1 \cdot 21,104^2)) + ((1/12 \cdot 19 \cdot 2 \cdot 1^3) + \\ &\quad (19 \cdot 2 \cdot 1 \cdot 19,604^2)) + ((1/12 \cdot 19 \cdot 2 \cdot 1^3) + (19 \cdot 2 \cdot 1 \cdot 19,096^2)) + \\ &\quad ((1/12 \cdot 20 \cdot 1^3) + (20 \cdot 1 \cdot 20,396^2)) + 2 \cdot ((1/12 \cdot 1 \cdot 38 \cdot 7^3) + \\ &\quad (1 \cdot 38 \cdot 7 \cdot 0,354^3)) + 2 \cdot ((1/12 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 3^3) + (1 \cdot 1 \cdot 3 \cdot 19,746^3)) \\ &= 61295,79 \text{ cm}^4 \end{aligned}$$

Modulus penampang las

$$\begin{aligned} S_x &= I_x' / y_b \\ &= \frac{61295,79 \text{ cm}^4}{20,396 \text{ cm}} \\ &= 3005,31 \text{ kg/cm}^3 \end{aligned}$$

Akibat  $V_u$  :

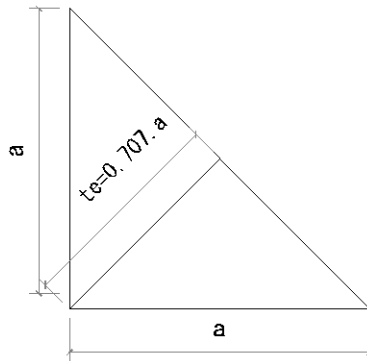
$$\begin{aligned} f_v &= \frac{V_u}{A} \\ &= \frac{76,02 \cdot 100 \text{ kg}}{158,4 \text{ cm}^2} \\ &= 47,99 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

Akibat  $M_u$  :

$$\begin{aligned} f_h &= \frac{M_u}{S_x} \\ &= \frac{705300 \text{ kgcm}}{3005,31 \text{ cm}^3} \\ &= 234,68 \text{ kg/cm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 f_{\text{total}} &= \sqrt{f_h^2 + f_v^2} \\
 &= \sqrt{239,54^2 + 47,99^2} \\
 &= 239,54 \text{ kg/cm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \phi f_n &= \phi \cdot 0,6 \cdot E70 \\
 &= 0,75 \cdot 0,6 \cdot 70 \cdot 70,3 \text{ kg/cm}^2 \\
 &= 2214,45 \text{ kg/cm}
 \end{aligned}$$



**Gambar 4.33** Tebal efektif las sudut

$$\begin{aligned}
 t_{e\text{-perlu}} &= \frac{f_{\text{total}}}{\phi f_n} \cdot 1 \text{ cm} \\
 &= \frac{239,54}{2214,45} \cdot 1 \text{ cm} \\
 &= 0,11 \text{ cm}
 \end{aligned}$$

$$a = \frac{t_e}{0,707} = 0,15 \text{ cm}$$



SNI 1729-2015 pasal J2b

- Untuk tebal las minimum ( $a_{\min}$ ):

$$6 \text{ mm} < t_{\text{profil}} \leq 13 \text{ mm}$$

$$a_{\min} = 5 \text{ mm}$$

- Untuk tebal las maksimum ( $a_{\text{maks}}$ ):

$$t_{\text{profil}} > 6 \text{ mm}$$

$$a_{\text{maks}} = t_{\text{profil}} - 2 \text{ mm}$$

$$a_{\text{maks}} = 6 \text{ mm}$$

dipakai  $a = 5 \text{ cm}$  dengan tebal efektif  $t_e = 3,6 \text{ mm}$

#### 4.3.2.5. Sambungan Baut

Sambungan baut dilakukan pada gelagar melintang dengan gelagar melintang pada jarak 700 cm dari tumpuan. Maka pada gelagar melintang diputus pada jarak tersebut untuk mempermudah proses pelaksanaan.

$$P_u = 7602 \text{ kg}$$

$$M_u = 194700 \text{ kg.cm (pada jarak 70cm dari tumpuan)}$$

Pembagian momen

$$\begin{aligned} M_{u\text{-badan}} &= \frac{I_{bd}}{I_{prop}} \cdot M_u \\ &= \frac{1}{12} (0,8)(38,7)^3 \\ &\quad \frac{9520,51}{9520,51} \cdot 194700 \\ &= 79021,87 \text{ kgcm} \\ &= 7902187 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M_{u\text{-sayap}} &= M_u - M_{u\text{-badan}} \\ &= (194700 - 79021,87) \text{ kgcm} \\ &= 115678,12 \text{ kgcm} \\ &= 11567812 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

1. Sambungan pelat sayap bawah

Direncanakan baut  $\varnothing 16$

$$f_u^b = 410 \text{ Mpa}$$

$$A_b = 201,06 \text{ mm}^2$$

Lubang perlemahan ( $d_p$ )

$$\begin{aligned} d_p &= 16 \text{ mm} + 1,5 \text{ mm} \\ &= 17,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

Pelat penyambung

$$t_p = 13 \text{ mm}$$

BJ41

$$F_u = 410 \text{ Mpa}$$

$$F_y = 250 \text{ Mpa}$$

Syarat jarak antar baut

$$3d_b \leq S \leq 15 \cdot t_p \text{ atau } 200 \text{ mm}$$

$$3(16 \text{ mm}) \leq S \leq 15(13 \text{ mm})$$

$$48 \text{ mm} \leq S \leq 195 \text{ mm}$$

Dipakai nilai  $S = 100 \text{ mm}$

Syarat jarak baut ke tepi pelat

$$1,5d_b \leq S \leq 12 \cdot t_p \text{ atau } 150 \text{ mm}$$

$$1,5(16 \text{ mm}) \leq S \leq 12(13 \text{ mm})$$

$$24 \text{ mm} \leq S \leq 156 \text{ mm}$$

Dipakai nilai  $S = 35 \text{ mm}$

Kuat nominal satu (1) baut

a. Kuat geser ( $V_d$ )

$$r_1 = 0,5 \text{ (tanpa ulir pada bidang geser)}$$

$$m = 1 \text{ (dua bidang geser)}$$

$$\begin{aligned} \phi V_n &= \phi \cdot r_1 \cdot f_u^b \cdot A_b \cdot m \\ &= 0,75 \cdot 0,5 \cdot 410 \cdot 201,06 \cdot 1 \\ &= 30913,27 \text{ N (menentukan)} \end{aligned}$$

b. Kuat tumpu ( $R_d$ )

$$\begin{aligned} \phi R_n &= \phi \cdot 2,4d_b \cdot t_p \cdot f_u \\ &= 0,75 \cdot 2,4 \cdot 16 \cdot 13 \cdot 410 \\ &= 153504 \text{ N} \end{aligned}$$

Dipakai nilai kuat nominal satu (1) baut  
 $\phi V_n = 30913,27 \text{ N}$

Momen sayap

$$M_u = 11567812 \text{ Nmm}$$

$$\begin{aligned} T_u &= \frac{M_u}{h} \\ &= \frac{11567812}{387} \\ &= 29890,99 \text{ N} \end{aligned}$$

Jumlah baut yang diperlukan

$$\begin{aligned} n &= \frac{T_u}{\phi V_n} \\ &= \frac{29890,99}{30913,27} \\ &= 0,97 \text{ buah} \approx 4 \text{ buah} \end{aligned}$$

## 2. Sambungan pelat badan

Direncanakan baut Ø16

$$f_u^b = 410 \text{ Mpa}$$

$$A_b = 201,06 \text{ mm}^2$$

Lubang perlemahan ( $d_p$ )

$$\begin{aligned} d_p &= 16 \text{ mm} + 1,5 \text{ mm} \\ &= 17,5 \text{ mm} \end{aligned}$$

Pelat penyambung

$$t_p = 8 \text{ mm}$$

BJ41

$$F_u = 410 \text{ Mpa}$$

$$F_y = 250 \text{ Mpa}$$

Syarat jarak antar baut

$$3d_b \leq S \leq 15 \cdot t_p \text{ atau } 200 \text{ mm}$$

$$3 (16 \text{ mm}) \leq S \leq 15 (8 \text{ mm})$$

$$48 \text{ mm} \leq S \leq 120 \text{ mm}$$

Dipakai nilai  $S = 100 \text{ mm}$

Syarat jarak baut ke tepi pelat

$$1,5d_b \leq S \leq 12 \cdot t_p \text{ atau } 150 \text{ mm}$$

$$1,5(16 \text{ mm}) \leq S \leq 12 (8 \text{ mm})$$

$$24 \text{ mm} \leq S \leq 96 \text{ mm}$$

Dipakai nilai  $S = 50 \text{ mm}$

Kuat nominal satu (1) baut

a. Kuat geser ( $V_d$ )

$$r_1 = 0,5 \text{ (tanpa ulir pada bidang geser)}$$

$$m = 2 \text{ (dua bidang geser)}$$

$$\begin{aligned} \phi V_n &= \phi \cdot r_1 \cdot f_u^b \cdot A_b \cdot m \\ &= 0,75 \cdot 0,5 \cdot 410 \cdot 201,06 \cdot 2 \\ &= 61826,54 \text{ N (menentukan)} \end{aligned}$$

b. Kuat tumpu ( $R_d$ )

$$\begin{aligned} \phi R_n &= \phi \cdot 2,4d_b \cdot t_p \cdot f_u \\ &= 0,75 \cdot 2,4 \cdot 16 \cdot 8 \cdot 410 \\ &= 94464 \text{ N} \end{aligned}$$

Dipakai nilai kuat nominal satu (1) baut

$$\phi V_n = 61826,54 \text{ N}$$

Momen yang bekerja pada titik berat sambungan badan

$$\begin{aligned} M_{\text{utot}} &= M_{\text{ubadan}} + P_u \cdot e \\ &= 194700 + 7602 \cdot 0,008 \\ &= 2007,816 \text{ kgm} \\ &= 2007816 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

Jumlah baut yang diperlukan

$$n = \sqrt{\frac{6M_{\text{utot}}}{\mu R_u}}$$

Dimana :

N = jumlah baut

$M_{\text{utot}}$  = Momen total

$\mu$  = Jarak verikal baut

= 100 mm

$P_o$  = Kapasitas baut

Selain beban momen, sambungan memikul beban  $P_u$ , maka  $R_u$  direduksi 0,7.

(Modul Struktur Baja I – Sambungan Baut)

$$n = \sqrt{\frac{6.2007816}{100.(0,7.61826,54)}}$$

$$= 1,67 \text{ buah} \approx 3 \text{ buah}$$

Akibat  $P_u$

$$K_{uv1} = \frac{P_u}{n} = \frac{7602}{3}$$

$$= 2534 \text{ kg} = 25340 \text{ N}$$

Akibat  $M_u$

$$\Sigma(x^2 + y^2) = 3 \cdot (5^2) + 2 \cdot (5^2)$$

$$= 2125 \text{ cm}^2$$

$$K_{uv2} = \frac{M_{\text{UT}} \cdot x}{\Sigma(x^2 + y^2)} = \frac{2007816.5}{125}$$

$$= 803,13 \text{ N}$$

$$K_{uh} = \frac{M_{\text{UT}} \cdot y}{\Sigma(x^2 + y^2)} = \frac{2007816.5}{125}$$

$$= 803,13 \text{ N}$$

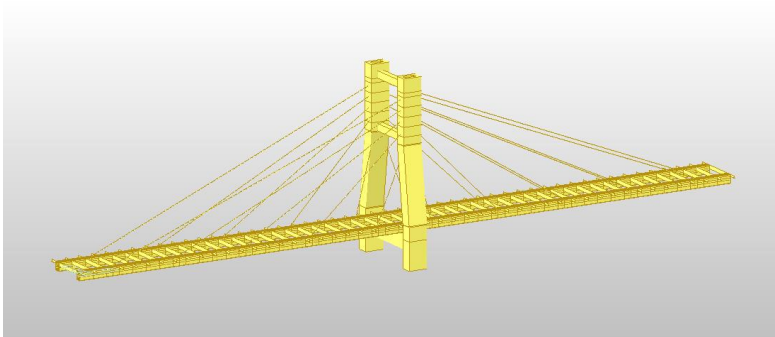


#### 4.4. Permodelan Sehubung Metode Pelaksanaan

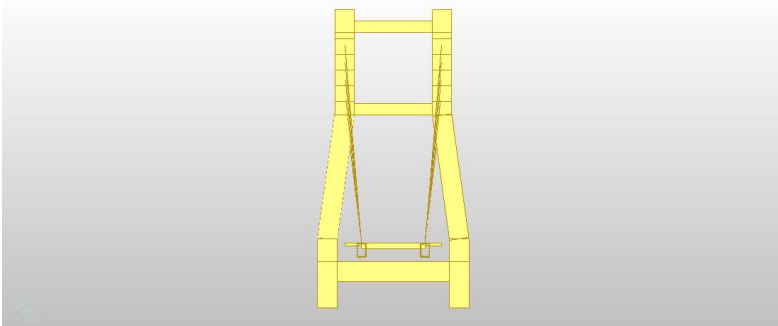
Pada bab ini akan membahas mulai dari permodelan struktur yang digunakan, pembebanan, hingga *construction stage analysis*. Pembebanan yang akan menghasilkan gaya-gaya yang terjadi pada struktur utama berupa gelagar utama yang berupa *box girder*, kabel, *block anchor*, *pylon*, dan perletakan. Dalam melakukan analisa akan menggunakan program bantu MIDAS CIVIL 2011. Beban yang bekerja berupa beban statik (berat sendiri, beban mati tambahan, beban hidup, dan beban angin), dinamik ( beban gempa dengan menggunakan analisa *response spectrum*), dan *staging analysis* (beban yang bekerja saat pelaksanaan atau pendirian jembatan).

##### 4.4.1. Permodelan Struktur

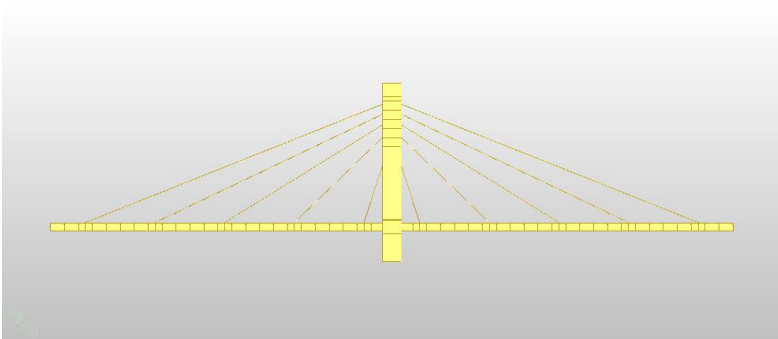
Permodelan struktur jembatan menggunakan permodelan dengan tiga dimensi, untuk lebih jelasnya seperti pada Gambar 4.35 sampai dengan Gambar 4.39 berikut ini :



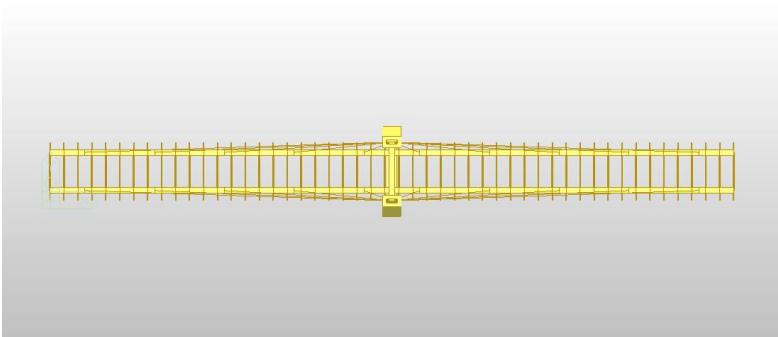
**Gambar 4.35** Tampak perspektif jembatan



**Gambar 4.36** Tampak melintang jembatan

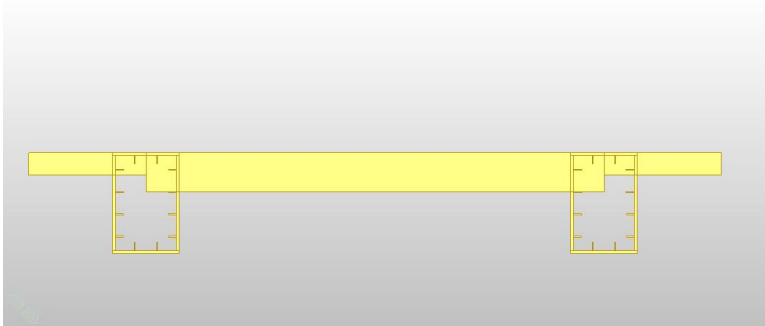


**Gambar 4.37** Tampak memanjang jembatan



**Gambar 4.38** Tampak atas jembatan





**Gambar 4.39** Tampak melintang dek jembatan

#### 4.4.1.1. Analisa Statik

Beberapa beban yang termasuk beban statik antara lain beban tetap (berat sendiri dan beban mati tambahan), beban hidup, dan beban angin. Untuk beban sendiri struktur seperti *box girder*, *pylon*, dan kabel akan hitung secara otomatis oleh program bantu MIDAS CIVIL 2011.

#### Pembebanan

##### 1. Beban mati

##### a) Beban dari rusuk dan pelat lantai kendaraan

$$\begin{aligned}
 P &= q \cdot \text{jarak antar gelagar melintang} \\
 &= 143,56 \text{ kg/m} \cdot 3 \text{ m} \\
 &= 431 \text{ kg} \\
 &= 4,31 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

##### b) Beban mati tambahan

##### - P tiang dan pipa sandaran

$$\begin{aligned}
 \text{Berat pipa} &= 2 \cdot 5,4 \text{ kg/m} \cdot 3 \text{ m} \\
 &= 32 \text{ kg} \\
 &= 0,32 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Berat tiang} &= 9,3 \text{ kg/m} \cdot 1,3 \text{ m} \\
 &= 12 \text{ kg} \\
 &= 0,12 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 P \text{ total} &= (0,32 + 0,12) \text{ kN} \\
 &= 0,44 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

- P tiang lampu  
 Pipa 6" dengan tebal 7,1 mm  
 Dari perhitungan pada balok melintang didapat
 
$$\begin{aligned}
 P &= q \cdot L \\
 &= 27,7 \text{ kg/m} \cdot 9\text{m} \\
 &= 249,3 \text{ kg} \\
 &= 2,49 \text{ kN}
 \end{aligned}$$
- Berat *box* lampu
 
$$\begin{aligned}
 W &= 8 \text{ kg} \\
 &= 0,08 \text{ kN}
 \end{aligned}$$
- Berat total
 
$$\begin{aligned}
 P + W &= (2,49 + 0,08) \text{ kN} \\
 &= 2,58 \text{ kN}
 \end{aligned}$$
- P tiang
 
$$\begin{aligned}
 &= (2,58 + 2,58 \cdot 10\%) \text{ kN} \\
 &= 2,83 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

## 2. Beban Hidup

### a) Beban Terbagi Rata (BTR)

Untuk  $L \leq 30 \text{ m}$  :  $q = 9 \text{ kPa}$

Untuk  $L > 30 \text{ m}$  :  $q = 9,0 \left( 0,5 + \frac{15}{L} \right) \text{ kPa}$

(SNI 1725-2016 pasal. 8.3.1)

Karena  $L$  pada desain ini = 147 m. maka

$$\begin{aligned}
 q &= 9,0 \left( 0,5 + \frac{15}{147} \right) \text{ kPa} \\
 &= 5,42 \text{ kPa} \\
 &= 5,42 \text{ kN/m}^2 \\
 q &= q_{\text{BTR}} \cdot 3\text{m} \\
 &= 5,42 \text{ kN/m}^2 \cdot 3\text{m} \\
 &= 16,25 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

### d) Beban Garis Terpusat (BGT)

Menurut SNI 1725-2016 pasal 8.3.1 besarnya BGT adalah 49 kN/m. Dengan bentang total jembatan pada desain ini adalah 147 m maka nilai Faktor Beban Dinamis (FDB) diambil sebesar 30% (SNI 1725-2016 Gambar 28)

$$\begin{aligned}
 P &= P_{BGT} (1 + FBD) \\
 &= 49 \text{ kN/m} (1 + 30\%) \\
 &= 63,7 \text{ kN/m}
 \end{aligned}$$

### 3. Gaya Rem(TB)

Untuk gaya rem, sesuai dengan SNI 1726-2016 pasal 8.7 gaya yang diambil terbesar dari :

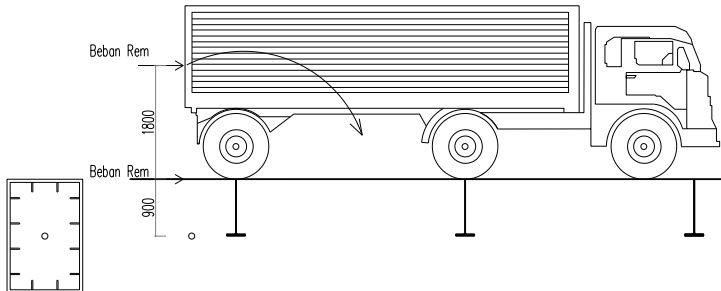
- 25% dari berat gandar truk desain  

$$\begin{aligned}
 TB &= 25 \% \cdot (T \cdot 2\text{roda}) \cdot \text{tinggi} \\
 &= 25 \% \cdot (112,5\text{kN} \cdot 2) \cdot 1,8\text{m} \\
 &= 101,25 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$
- 5% dari berat truk rencana ditambah beban lajur terbagi rata BTR  

$$\begin{aligned}
 TB &= 5 \% \cdot (\text{beban truk} + \text{BTR}) \cdot \text{tinggi} \\
 &= 5 \% \cdot (500 \text{ kN} + 16,255\text{kN/m} \cdot 3,5\text{m}) \cdot 1,8\text{m} \\
 &= 50,12 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$
- Untuk beban horizontal  

$$\begin{aligned}
 TB &= 25 \% \cdot (T \cdot 2\text{roda}) \\
 &= 25 \% \cdot (112,5\text{kN} \cdot 2) \\
 &= 56,25 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Dari hasil diatas akan diambil nilai terbesar dari gaya rem sebesar 101,25 kNm dimana beban rem akan dijadikan sebagai momen torsi dan beban horizontal sebesar 56,25 kN.



**Gambar 4.40** Ilustrasi beban rem berupa gaya horizontal dan momen torsi

#### 4. Beban Pejalan Kaki

Sesuai dengan SNI 1725-2016 pasal 8.9 semua komponen trotoar lebih lebar dari 600 mm harus direncanakan untuk memikul beban pejalan kaki dengan intensitas 5 kPa

$$\begin{aligned} W \text{ pejalan kaki} &= 5 \text{ kN/m}^2 \cdot 3\text{m} \\ &= 15 \text{ kN/m} \end{aligned}$$

#### 5. Beban Angin

##### a) Beban angin pada struktur

Berdasarkan SNI 1725-2016 pasal 9.6.1, tekanan angin horizontal untuk bagian jembatan dengan elevasi lebih tinggi dari 10000 mm di atas permukaan tanah atau permukaan air maka kecepatan angin rencana,  $V_{DZ}$ , sebagai berikut

$$V_{DZ} = 2,5 \cdot V_0 \left( \frac{V_{10}}{V_B} \right) \ln \left( \frac{Z}{Z_0} \right)$$

Dimana :

$V_{DZ}$  = kecepatan angin rencana pada elevasi rencana,  $Z$  (km/jam)

$V_{10}$  = kecepatan angin pada elevasi 10000 mm di atas permukaan tanah atau di atas permukaan air rencana (km/jam)

$V_B$  = kecepatan angin rencana yaitu 90 hingga 126 km/jam pada elevasi 10000 mm yang akan menghasilkan tekanan

$Z$  = elevasi struktur diukur dari permukaan tanah atau dari permukaan air dimana beban angin dihitung ( $Z > 10000$  mm)

$V_0$  = kecepatan gesekan angin, yang merupakan karakteristik meteorologi, ditentukan dalam Tabel 7.1

$Z_0$  = panjang gesekan di hulu jembatan, yang merupakan karakteristik meteorologi ditentukan dalam Tabel 4.13

$V_{10}$  dapat diperoleh dari :

- Grafik kecepatan angin dasar untuk berbagai periode ulang
- Survey angin pada lokasi jembatan
- Jika tidak ada data yang lebih baik maka perencana dapat mengasumsikan bahwa  $V_{10} = V_B = 90$  s/d 126 km/jam

**Tabel 4.13** Nilai  $V_0$  dan  $Z_0$  untuk variasi kondisi permukaan hulu

| Kondisi        | Lahan Terbuka | Sub Urban | Kota |
|----------------|---------------|-----------|------|
| $V_0$ (km/jam) | 13,2          | 17,6      | 19,3 |
| $Z_0$ (mm)     | 70            | 1000      | 2500 |

$$V_{DZ} = 2,5 \cdot 13,2 \left( \frac{100}{100} \right) \ln \left( \frac{13000}{70} \right)$$

$$= 172,4 \text{ km/jam}$$

$$= 47,889 \text{ m/s}$$

Dengan mengetahui kecepatan angin yang bekerja, dapat ditentukan beban angin pada struktur dimana tekanan angin rencana dalam MPa dengan menggunakan persamaan

$$P_D = P_B \left( \frac{V_{DZ}}{V_B} \right)^2$$

Dimana :

$P_B$  = tekanan angin dasar yang ditentukan dalam Tabel 4.14

**Tabel 4.14** Tekanan angin dasar

| Komponen bangunan atas        | Angin tekan (MPa) | Angin hisap (MPa) |
|-------------------------------|-------------------|-------------------|
| Rangka, kolom, dan pelengkung | 0,0024            | 0,0012            |
| Balok                         | 0,0024            | N/A               |
| Permukaan datar               | 0,0019            | N/A               |

$$\begin{aligned}
 P_D &= 0,0024 \left( \frac{172,4}{100} \right)^2 \\
 &= 0,00714 \text{ MPa} \\
 &= 7,14 \text{ kN/m}^2
 \end{aligned}$$

Beban pada struktur akan diterima pada gelegar utama yang berupa *box girder* sehingga dikalikan dengan tinggi penampang *box girder*.

$$\begin{aligned}
 P_D &= 7,14 \text{ kN/m}^2 \cdot 1,5 \text{ m} \\
 &= 10,71 \text{ kN/m} \\
 &= 10,71 \text{ N/mm}
 \end{aligned}$$

$$P_D > P_{D\min}$$

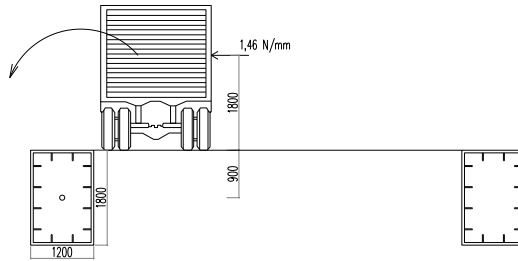
$$10,71 \text{ kN/m} > 4,4 \text{ kN/m (SNI 1725-2016 pasal 9.6.1.1)}$$

b) Beban angin pada kendaraan

Beban angin juga akan dibebankan pada kendaraan yang melintas ( $EW_1$ ) dimana telah diatur di SNI 1725-2016 pasal 9.6.1.2 dengan asumsi sebagai tekanan yang menerus sebesar 1,46 N/mm yang bekerja tegak lurus dan bekerja diatas 1800mm diatas permukaan jalan. Maka beban angin pada kendaraan yang akan diinput.

$$\begin{aligned}
 EW_1 &= 1,46 \text{ N/mm} \\
 &= 1,46 \text{ kN/m} \cdot (\text{tinggi} + \frac{1}{2} t_{\text{boxgirder}}) \cdot \text{panjang segmen} \\
 &= 1,46 \text{ kN/m} \cdot (1,8\text{m} + 0,9\text{m}) \cdot 3\text{m} \\
 &= 11,826 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Untuk beban angin pada kendaraan akan diinput sebagai momen torsi.



**Gambar 4.41** Ilustrasi beban angin kendaraan menjadi momen torsi

#### 4.4.1.2. Analisa Dinamis

Dalam analisa beban gempa menggunakan RSNi2 2833:201X dimana akan menggunakan *response spectrum* yang didapatkan dari website <http://petagempa.pusjatan.pu.go.id> untuk Kabupaten Bojonegoro dengan tanah sedang. Data yang diambil dari website tersebut adalah  $PGA$ ,  $S_s$  dan  $S_1$ . Dari data tersebut dilanjutkan pada perhitungan sebagai berikut :

RSNi2 2833:201X pasal 4.4.1.2

$$A_s = PGA \cdot F_{PGA}$$

$$PGA = 0,265$$

$$F_{PGA} = 1,27 \quad (\text{diperoleh dari interpolasi})$$

$$A_s = 0,337$$

RSNi2 2833:201X pasal 4.4.1.3

$$S_{DS} = F_a \cdot S_s$$

$$S_s = 0,529$$

$$F_a = 1,377 \quad (\text{diperoleh dari interpolasi})$$

$$S_{DS} = 0,728$$

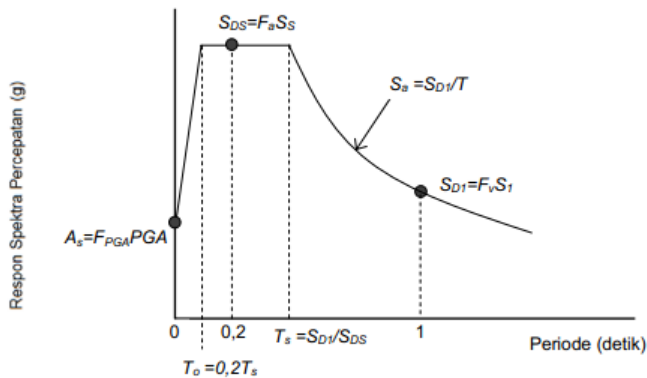
$$S_{D1} = F_v \cdot S_1$$

$$S_1 = 0,242$$

$$F_a = 1,916 \quad (\text{diperoleh dari interpolasi})$$

$$S_{D1} = 0,464$$

Untuk memperoleh grafik respon spektra harus sesuai dengan RSNI2 2833:201X. Berikut ini adalah gambar grafik respon spektra.



**Gambar 4.42** Grafik respon spektra

$$T_s = \left( \frac{S_{D1}}{S_{DS}} \right) = \left( \frac{0,464}{0,728} \right)$$

$$T_s = 0,637$$

$$T_o = 0,2 \cdot T_s$$

$$T_o = 0,127$$

Dari perhitungan di atas didapat nilai respon spektra, maka nilai respon spektra perlu direduksi dengan  $R = 3$  untuk arah melintang atau arah Y dan  $R = 1,5$  untuk arah memanjang atau arah X. Menurut kesepakatan komisi keselamatan jembatan dan terowongan jalan dilakukan reduksi gempa pada struktur jembatan arah X memiliki faktor modifikasi respons ( $R$ ) yang lebih kecil dari gempa pada struktur jembatan arah Y, hal ini terjadi karena pada arah memanjang tidak boleh ada struktur yang leleh. Sedangkan untuk reduksi arah Y memiliki faktor lebih besar karena pada arah melintang diperbolehkan struktur yang leleh contohnya balok pengaku pada *pylon*. Untuk lebih jelasnya dapat



dilihat hasil dari perhitungan gempa pada Tabel 4.15 dan Tabel 4.16.

**Tabel 4.15** Nilai *response spectrum* pada arah Y

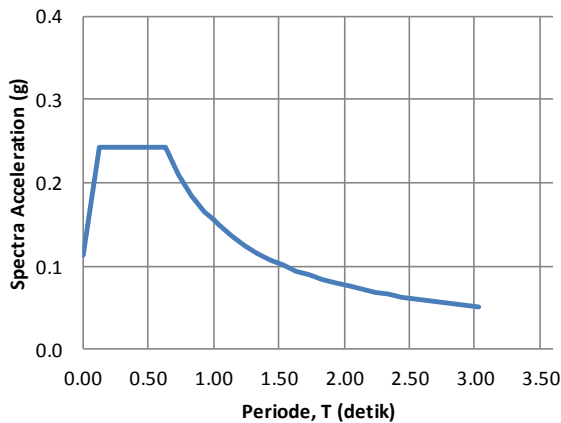
| T (detik) | SA (g) | T (detik) | SA (g) | T (detik) | SA (g) |
|-----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|
| 0.000     | 0.112  | 1.337     | 0.116  | 2.237     | 0.069  |
| 0.127     | 0.243  | 1.437     | 0.108  | 2.337     | 0.066  |
| 0.637     | 0.243  | 1.537     | 0.101  | 2.437     | 0.063  |
| 0.737     | 0.210  | 1.637     | 0.094  | 2.537     | 0.061  |
| 0.837     | 0.185  | 1.737     | 0.089  | 2.637     | 0.059  |
| 0.937     | 0.165  | 1.837     | 0.084  | 2.737     | 0.056  |
| 1.037     | 0.149  | 1.937     | 0.080  | 2.837     | 0.054  |
| 1.137     | 0.136  | 2.037     | 0.076  | 2.937     | 0.053  |
| 1.237     | 0.125  | 2.137     | 0.072  | 3.037     | 0.051  |

**Tabel 4.16** Nilai *response spectrum* pada arah X

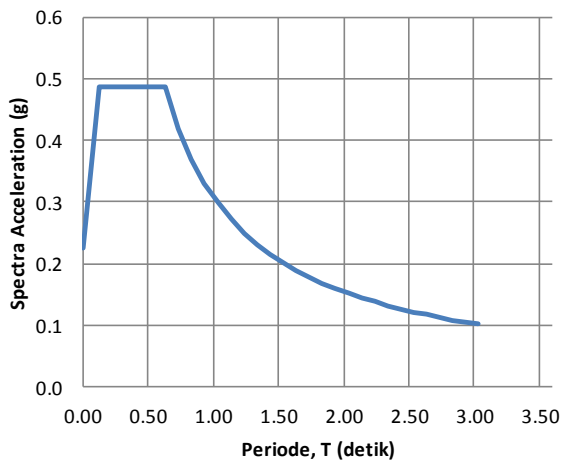
| T (detik) | SA (g) | T (detik) | SA (g) | T (detik) | SA (g) |
|-----------|--------|-----------|--------|-----------|--------|
| 0.000     | 0.224  | 1.337     | 0.231  | 2.237     | 0.138  |
| 0.127     | 0.486  | 1.437     | 0.215  | 2.337     | 0.132  |
| 0.637     | 0.486  | 1.537     | 0.201  | 2.437     | 0.127  |
| 0.737     | 0.420  | 1.637     | 0.189  | 2.537     | 0.122  |
| 0.837     | 0.369  | 1.737     | 0.178  | 2.637     | 0.117  |
| 0.937     | 0.330  | 1.837     | 0.168  | 2.737     | 0.113  |
| 1.037     | 0.298  | 1.937     | 0.160  | 2.837     | 0.109  |
| 1.137     | 0.272  | 2.037     | 0.152  | 2.937     | 0.105  |
| 1.237     | 0.250  | 2.137     | 0.145  | 3.037     | 0.102  |

Berikut ini grafik *response spectrum* yang didapat dari puskim dan MIDAS CIVIL dapat dilihat dari Gambar 4.43 dan Gambar 4.44. Untuk zona gempa Kabupaten Bojonegoro dapat dilihat pada Gambar 4.45.

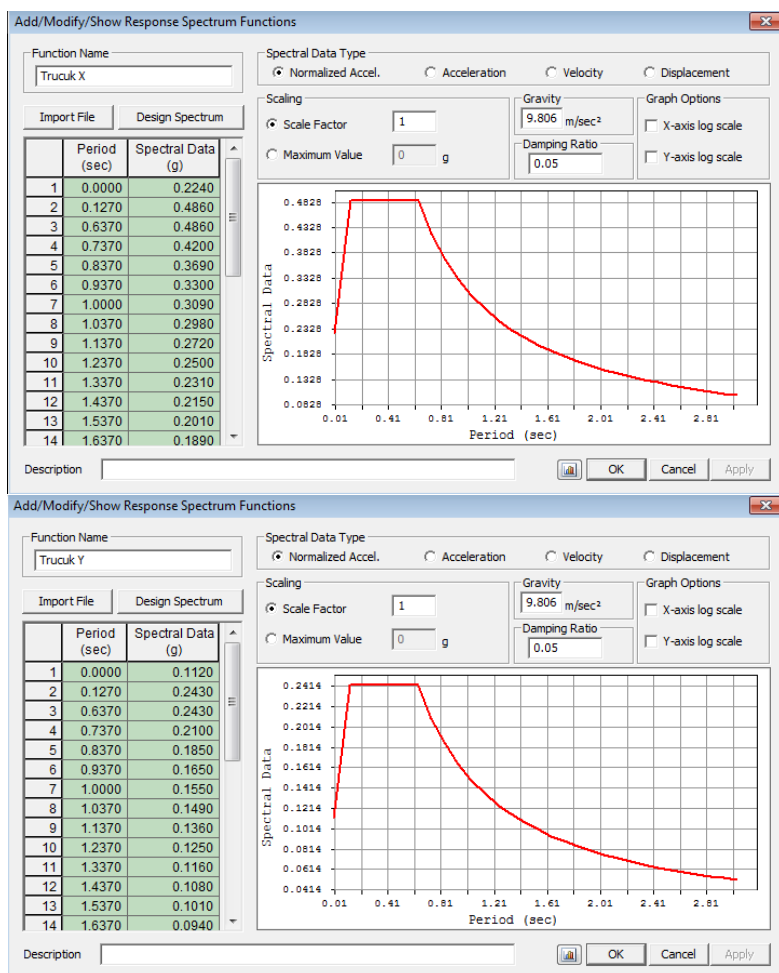
**Respond Spectrum Arah Y**



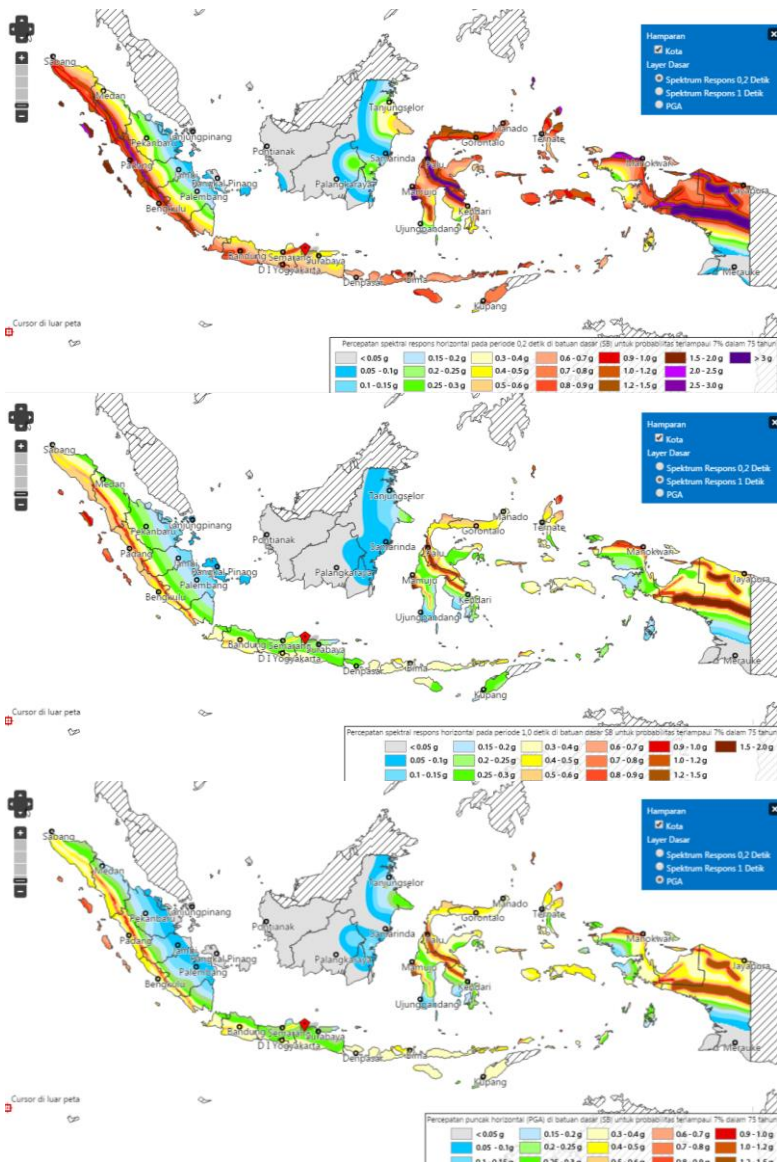
**Respond Spectrum Arah X**



**Gambar 4.43** Grafik *response spectrum*



**Gambar 4.44** Grafik *response spectrum* pada MIDAS CIVIL



**Gambar 4.45** Peta respon spektra Indonesia

Dari pembebanan gempa diperoleh nilai *base share* ke arah x sebesar 4128,04 kN dan *base share* ke arah y sebesar 2622,15 kN. Untuk periode struktur yang terjadi adalah 3,856 detik. Dari hasil base shear tersebut akan dibandingkan dengan  $V_{\text{statik}}$ . Sesuai dengan RSN12 2833:201X pasal 5  $V_{\text{statik}}$  dapat diperoleh dengan rumus sebagai berikut ini.

$$E_Q = \frac{C}{R} \cdot W_t$$

Dimana :

$E_Q$  = gempa statik (kN)

$C$  = koefisien respon elastis

$R$  = faktor modifikasi respon

= untuk arah Y  $R = 3$  (kesepakatan komisi keselamatan jembatan dan terowongan jalan)

= untuk arah X  $R = 1,5$  (kesepakatan komisi keselamatan jembatan dan terowongan jalan)

$W_t$  = berat total struktur dari beban mati (36027,72 kN)

Sebelum perhitungan tersebut dilakukan perhitungan periode alami yang terjadi pada jembatan dengan rumus sebagai berikut:

$$T = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{W}{g \cdot K}}$$

Dimana :

$T$  = gempa statik (kN)

$g$  = percepatan gravitasi ( $\text{m/detik}^2$ )

$K$  = kekakuan struktur yaitu gaya yang diperlukan untuk menimbulkan satu satuan simpangan pada bagian pilar atau kolom (kN/m)

$W_t$  = berat total struktur dari beban mati (36027,72 kN)

Dengan diketahui periode pada jembatan yaitu 3,856 detik maka  $C$  diketahui dengan rumus:

$$C = \frac{S_{D1}}{T} = \frac{0,464}{3,856} = 0,12$$

Gempa arah Melintang Y

$$\begin{aligned} E_{QY} &= \frac{0,12}{3} \cdot 36027,72 \text{ kN} \\ &= 1443,99 \text{ kN} \end{aligned}$$

Gempa arah Memanjang X

$$\begin{aligned} E_{QX} &= \frac{0,12}{1,5} \cdot 36027,72 \text{ kN} \\ &= 2887,97 \text{ kN} \end{aligned}$$

*Base share* dari akibat beban gempa respon harus lebih besar dari 0,85 beban gempa statik. Berikut ini adalah hasil perbandingan beban gempa respon dengan beban gempa statik.

$$\begin{aligned} 0,85 E_{QY} &= 1227,39 \text{ kN} < E_{QY \text{ respon}} = 2622,15 \text{ kN} \\ 0,85 E_{QX} &= 2454,78 \text{ kN} < E_{QX \text{ respon}} = 4128,04 \text{ kN} \end{aligned}$$

Dari hasil tersebut maka tidak perlu adanya pembesaran untuk gempa respon.

#### 4.4.1.3. Kombinasi Pembebanan

##### a) Kombinasi Beban Analisa Statik

Berikut ini beberapa kombinasi beban untuk analisa statik berdasarkan dari SNI 1725-2016 dengan beberapa konfigurasi yang sesuai dengan 08/SE/M/2015 pasal 10.1 agar mendapatkan pengaruh yang maksimum dapat dilihat pada Tabel 4.17 dan Tabel 4.18.

**Tabel 4.17** Kombinasi pembebanan untuk analisa statik

| Kasus | Konfigurasi Beban              |
|-------|--------------------------------|
| 1     | $1,1DL+2ADL+2TD+1,8TB+1,8TP$   |
| 2     | $1,1DL+2ADL+2TD+1,8TB+1,8TP$   |
| 3     | $1,1DL+2ADL+2TD+1,8TB+1,8TP$   |
| 4     | $1,1DL+2ADL+1,4EW_s$           |
| 5     | $1,1DL+2ADL$                   |
| 6     | $1,1DL+2ADL+0,4EW_s+EW_1$      |
| 7     | $DL+ADL+TD+TB+TP+0,3EW_s+EW_1$ |
| 8     | $DL+ADL+TD+TB+TP+0,3EW_s+EW_1$ |
| 9     | $DL+ADL+TD+TB+TP+0,3EW_s+EW_1$ |
| 10    | $DL+ADL+1,3TD+1,3TB+1,3TP$     |
| 11    | $DL+ADL+1,3TD+1,3TB+1,3TP$     |
| 12    | $DL+ADL+1,3TD+1,3TB+1,3TP$     |
| 13    | $DL+ADL+0,7EW_s$               |

| Keterangan |                          |
|------------|--------------------------|
| DL         | Berat Sendiri            |
| ADL        | Beban Mati Tambahan      |
| TD         | Beban "D" (BTR & BGT)    |
| BTR        | Beban Terbagi Rata       |
| BGT        | Beban Garis Terpusat     |
| TB         | Beban Rem                |
| TP         | Beban Hidup Pejalan Kaki |
| $EW_s$     | Beban Angin              |

**Tabel 4.18** Ilustrasi dari konfigurasi beban tampak atas

| Kasus | Ilustrasi |
|-------|-----------|
| 1     |           |
| 2     |           |

**Tabel 4.18** Ilustrasi dari konfigurasi beban tampak atas (lanjutan)

|    |  |
|----|--|
| 3  |  |
| 4  |  |
| 5  |  |
| 6  |  |
| 7  |  |
| 8  |  |
| 9  |  |
| 10 |  |
| 11 |  |
| 12 |  |
| 13 |  |



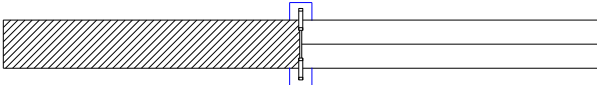
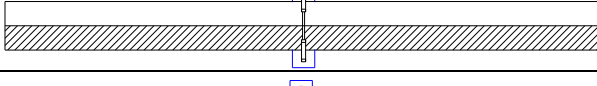
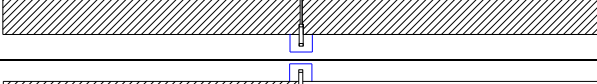
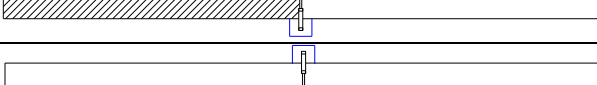
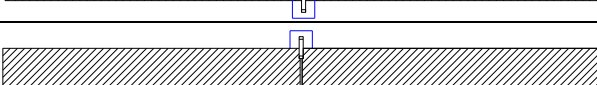

### b) Konfigurasi Beban Analisa Statik

Berikut ini konfigurasi beban untuk analisa dinamik yang berupa beban gempa *response rectrum* dan beban tetap dapat dilihat pada Tabel 4.19 dan Tabel 4.20.

**Tabel 4.19** Kombinasi pembebanan untuk analisa dinamik

| Kasus | Konfigurasi Beban                     |
|-------|---------------------------------------|
| 14    | 1,1DL+2ADL+0,3TD+0,3TB+0,3TP+Ex+0,3Ey |
| 15    | 1,1DL+2ADL+0,3TD+0,3TB+0,3TP+Ex+0,3Ey |
| 16    | 1,1DL+2ADL+0,3TD+0,3TB+0,3TP+Ex+0,3Ey |
| 17    | 1,1DL+2ADL+0,3TD+0,3TB+0,3TP+Ey+0,3Ex |
| 18    | 1,1DL+2ADL+0,3TD+0,3TB+0,3TP+Ey+0,3Ex |
| 19    | 1,1DL+2ADL+0,3TD+0,3TB+0,3TP+Ey+0,3Ex |

**Tabel 4.20** Ilustrasi dari konfigurasi beban tampak atas

| Kasus | Ilustrasi   |
|-------|---|
| 14    |    |
| 15    |    |
| 16    |   |
| 17    |  |
| 18    |  |
| 19    |  |

#### 4.4.1.4. Pembebanan Kabel

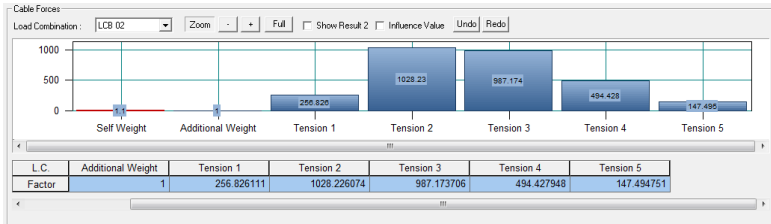
Dalam pelaksanaannya, pada tiap kabel akan diberikan gaya tarik sebelum dibebani. Dengan adanya gaya tarik terlebih dahulu agar dapat mengatur posisi akhir pada gelagar sebelum diberi beban. Bila kabel tidak dibebani terlebih dahulu akan mengakibatkan gelagar akan melendut terlebih dahulu sebelum adanya beban yang bekerja pada lantai kendaraan.

Dengan adanya program MIDAS CIVIL yang dapat membantu menganalisa besarnya gaya tarik pada tiap kabel dengan salah satu fitur yang ada yaitu *unknown load factor calculation*. Berikut ini langkah-langkah dalam melakukan analisa gaya tarik pada tiap kabel dapat dijelaskan sebagai berikut ini:

1. Memberikan gaya tarik (*stressing*) pada kabel sebesar 1 kN pada tiap kabel.
2. Memberikan batasan deformasi untuk tiap nodal pada lantai kendaran. Hal ini dimaksudkan untuk memberikan input program kondisi akhir yang diinginkan untuk lantai kendaraan. Batasan yang diberikan sebesar +0,01 m dan -0,01 m. Hal tersebut dilakukan agar mendapatkan hasil akhir pada lantai kendaraan yang melendut sebesar 0,01m setelah dilakukan penarikan kabel.
3. Ditentukan beban-beban yang bekerja yang dapat mempengaruhi hasil akhir sebelum adanya beban hidup. Beban-beban yang bekerja antara lain adalah beban mati (berat sendiri lantai kendaraan) dan beban mati tambahan.
4. Data yang telah diperlukan oleh program MIDAS CIVIL sehingga dapat melakukan iterasi. Program tersebut akan melakukan iterasi dari gaya yang diberikan sebelumnya sebesar 1 kN dengan batasan yang diberikan yaitu 0,01 m pada lantai kendaraan.
5. Hasil dari analisa adalah *load factor* untuk tiap kabel. Dari gaya tarik sebesar 1 kN diberikan *load factor* oleh program MIDAS CIVIL dari hasil iterasi. Hal ini

berhubungan dengan salah satu fitur adalah *unknown load factor calculation*.

Hasil iterasi pada tiap gaya kabel yang diperoleh dari *cable force tuning* dapat dilihat pada Gambar 4. 46 sebagai berikut.



**Gambar 4.46** Gaya tarik awal tiap kabel

#### 4.4.2. Staging analysis

*Staging analysis* merupakan salah satu fitur dari program bantu MIDAS CIVIL dimana dapat simulasikan metode pelaksanaan yang menggunakan *balance cantilever* dan dipengaruhi oleh beban *form traveler* dan rantai kendaraan. Sebelum dimodelkan, beban yang bekerja seperti *form traveler* dan rantai kendaraan akan dihitung. Karena *form traveler* akan mengangkat rantai kendaraan.

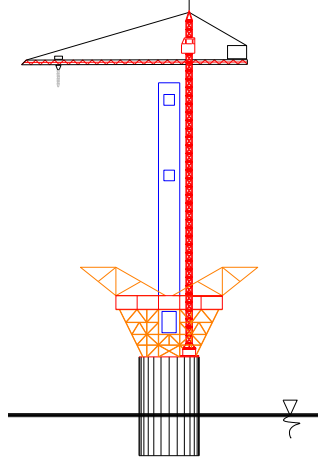
##### a) Pelaksanaan

Seperti penjelasan sebelumnya, bahwa program bantu MIDAS CIVIL terdapat fitur yang memudahkan dalam mensimulasikan metode pelaksanaan. Berikut ini tahapan yang akan dilakukan dalam hal pelaksanaannya.

Tahapannya sebagai berikut :

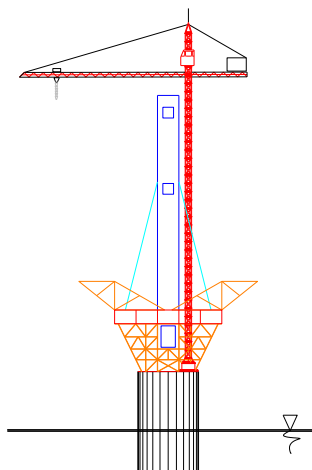
1. Pembangunan struktur bawah yang meliputi pemancangan, pembuatan *pilecap*, dan membangun *abutmen* serta mendirikan tower crane untuk membantu proses pengangkatan bekisting *pylon*.
2. Membangun *pylon* dengan pengecoran persegi pylon hingga selesai.

3. Saat pembangunan *abutmen* dan *pylon* dikerjakan, perangkatan *deck* per segmen sepanjang 6m (penyesuaian dengan kemampuan angkat *form traveler*) dilakukan fabrikasi. Setelah struktur bawah dan *pylon* berdiri, dimulai perakitan perancah untuk menempatkan *deck* D1 & D1' pada tengah-tengah *pylon*. Pada tepi gelagar utama terdapat *form traveler* untuk menaikkan segmen *deck* lainnya.



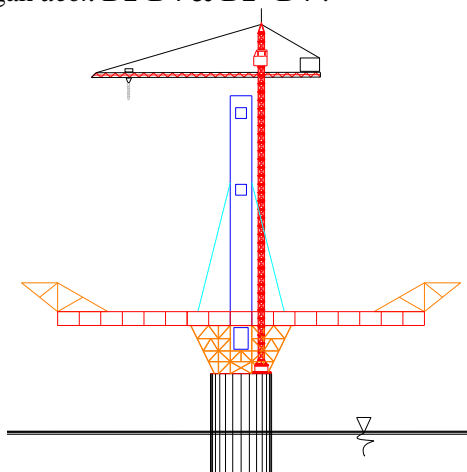
**Gambar 4.47** Pendirian *pylon* dan penempatan *deck* D1 & D1'

4. Pemasangan kabel C1 & C1' dapat dilaksanakan pada saat beton *pylon* mencapai umur 14 hari.



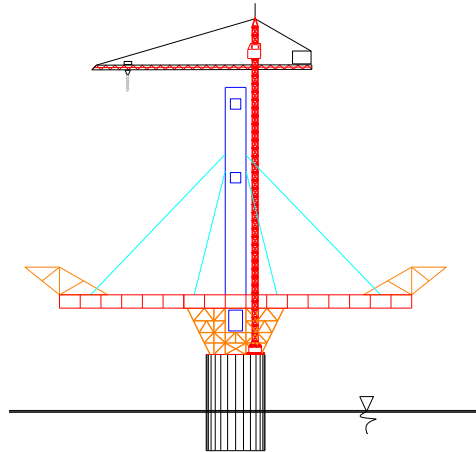
**Gambar 4.48** Pemasangan kabel C1 & C1'

5. Pemasangan *deck* D2-D4 & D2'-D4'.



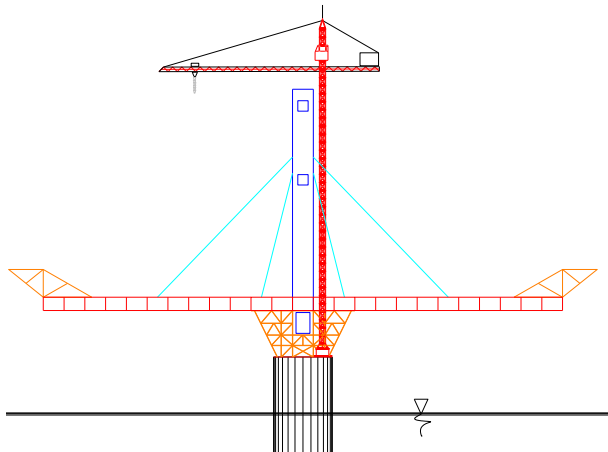
**Gambar 4.49** Pemasangan *deck* D2-D4 & D2'-D4'

6. Pemasangan kabel C2& C2'.



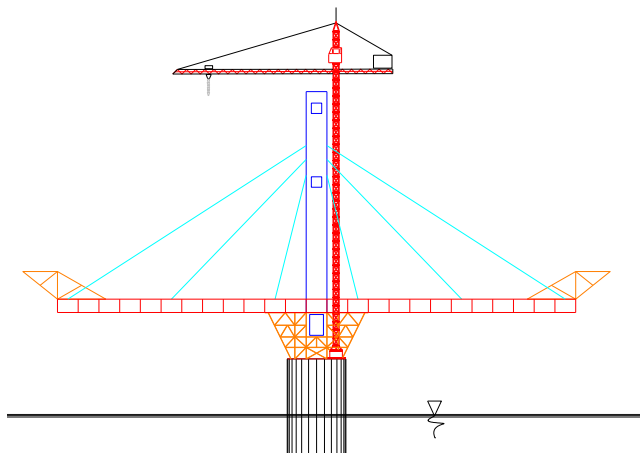
**Gambar 4.50** Pemasangan kabel C2& C2'

7. Pemasangan *deck* D5-D6 & D5'-D6'.



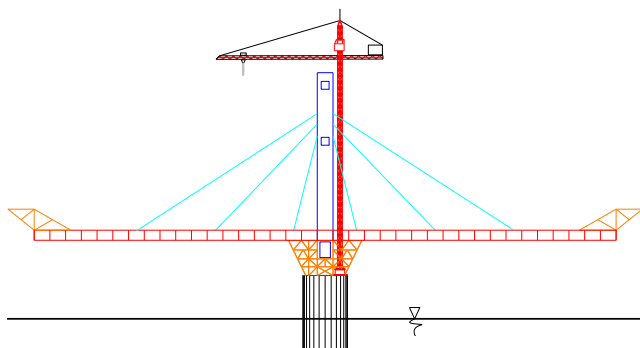
**Gambar 4.51** Pemasangan *deck* D5-D6 & D5'-D6'

8. Pemasangan kabel C3 & C3'.



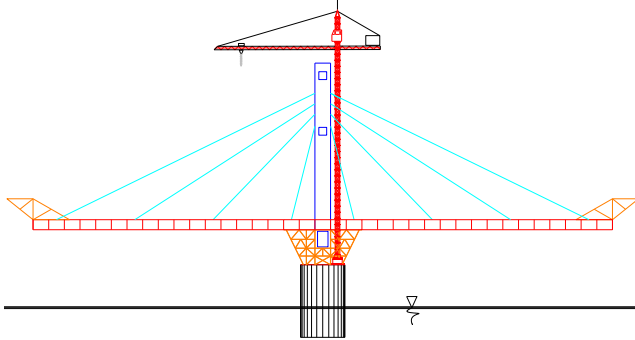
**Gambar 4.52** Pemasangan kabel C3 & C3'

9. Pemasangan *deck* D7-D9 & D7'-D9'.



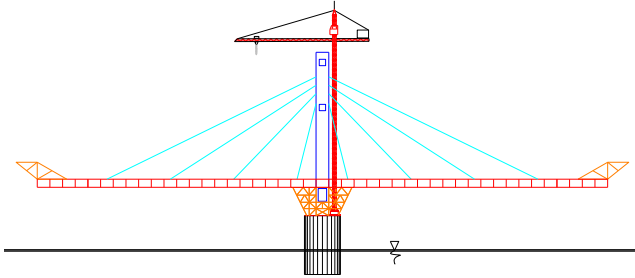
**Gambar 4.53** Pemasangan *deck* D7-D9 & D7'-D9'

10. Pemasangan kabel C4 & C4'.



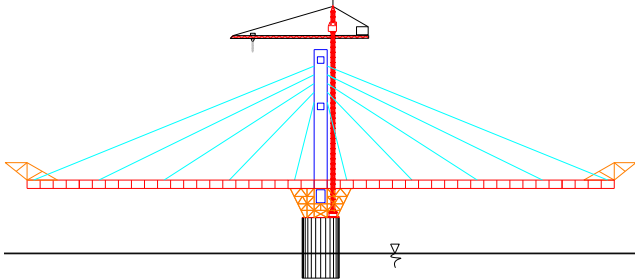
**Gambar 4.54** Pemasangan kabel C4 & C4'

11. Pemasangan *deck* D10-D11 & D10'-D11'.



**Gambar 4.55** Pemasangan *deck* D10-D11 & D10'-D11'

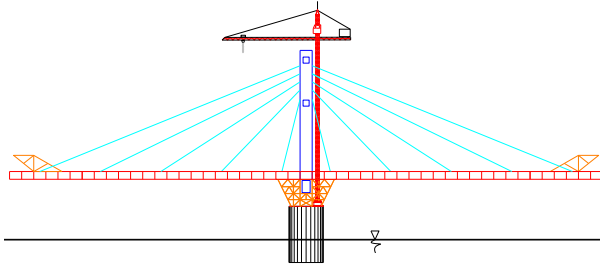
12. Pemasangan kabel C5 & C5'.



**Gambar 4.56** Pemasangan kabel C5 & C5'



### 13. Pemasangan *deck* D12-D13 & D12'-D13'.



**Gambar 4.57** Pemasangan *deck* D12-D13 & D12'-D13'

#### b) **Pembebanan**

Untuk melakukan *staging analysis*, terlebih dahulu dilakukan perhitungan pembebanan untuk form traveler dengan beban lantai kendaraan.

##### 1. Beban *form traveler* ( $P_{FT}$ )

Pada pelaksanaan akan menggunakan *form traveler* dengan tipe *overhead*. *Form traveler* akan membebani struktur yang berupa *balace cantilever*.



**Gambar 4.58** Contoh *form traveler* yang digunakan

Spesifikasi form traveler menggunakan dari Handan China Railway Bridge Machinery Co. Ltd., berikut spesifikasi *form traveler* :

**Tabel 4.21** FT-S form traveler overhead model specification

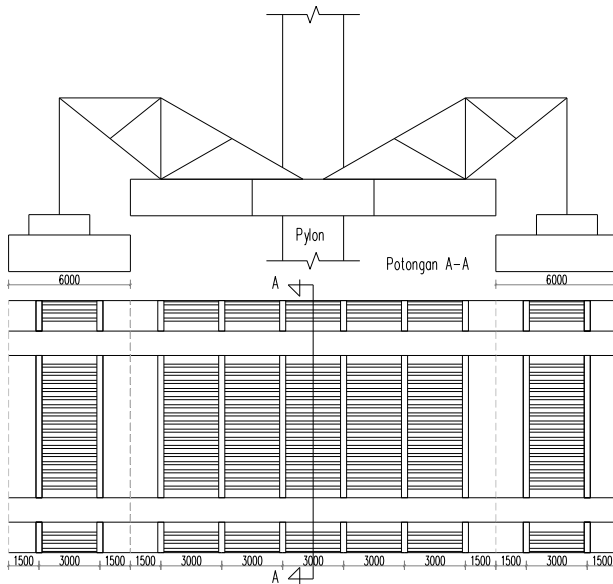
| Item | Description             |              | Specification  |
|------|-------------------------|--------------|--|
| 1    | Model                   |              | FT-S   |
| 2    | Capacity                |              | 100t ~ 480t  |
| 3    | Segment Length          |              | 3.5m ~ 7.0m  |
| 4    | Deck Width              |              | 5m ~ 35m   |
| 5    | Bridge Curvature Radius |              | 100m-unlimited   |
| 6    | Bridge Type             |              | Balance Cantilever Box Girder or Cable Stay  |
| 7    | Launching Mechanism     |              | Hydraulic  |
| 8    | Formwork Material       |              | Metal Sheet or Plywood Sheet   |
| 9    | Shape of Bridge Section |              | Any shape  |
| 10   | Production Cycle time   |              | 5 days – 7 days depend on site condition, concreting capacity, concrete design, pier height, reinforcement fabrication method etc. |
| 11   | Max. Bridge Slope       | Longitudinal | 7%   |
|      |                         | Transverse   | 5%   |

Beban form traveler ( $P_{FT}$ )

$$P_{FT} = 1000\text{kN}$$

2. Beban lantai kendaraan

Direncanakan beban lantai kendaraan dengan segmen per 6m dengan lebar lantai kendaraan 12,4m yang akan diangkat oleh *form traveler*.



**Gambar 4.59** Segmen *deck* pada saat pengangkatan  
(dalam mm)

- Gelagar utama (main girder) :  

$$w = A \text{ (luas)} \cdot \text{massa jenis} \cdot \text{bentang} \cdot n$$

$$= 0,3424 \text{ m}^2 \cdot 7850 \text{ kg/m}^3 \cdot 6 \text{ m} \cdot 2$$

$$= 32354,08 \text{ kg}$$
- Balok melintang (floor beam) :  

$$w = q \cdot \text{bentang} \cdot n$$

$$= 476,34 \text{ kg/m} \cdot 7 \text{ m} \cdot 2$$

$$= 3334,37 \text{ kg}$$
- Balok kantilever (floor beam) :  

$$w = q \cdot \text{bentang} \cdot n$$

$$= 44,71 \text{ kg/m} \cdot 1,5 \text{ m} \cdot 4 = 268,28 \text{ kg}$$
- Rusuk, pelat, aspal :  

$$w = q \cdot \text{bentang} \cdot n$$

$$= 143,56 \text{ kg/m} \cdot 6 \text{ m} \cdot 16$$

$$= 13782 \text{ kg}$$

- Berat total persegmen *deck* :

$$\begin{aligned} w_{\text{tot}} &= (32254,08 + 3334,37 + 268,28 + 13782)\text{kg} \\ &= 49638,72 \text{ kg} \\ &= 496,39 \text{ kN} \approx 500 \text{ kN} \end{aligned}$$

### 3. Beban angin

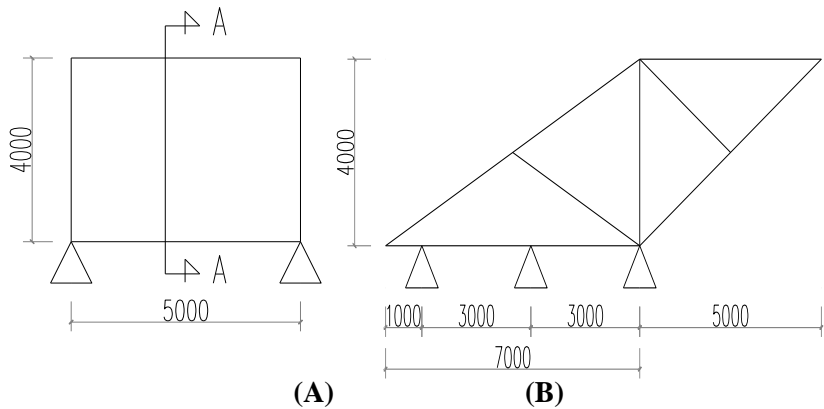
Beban angin diinput dengan besaran seperti pembebanan angin sebelumnya yang dibebankan pada samping gelagar utama untuk mencari gaya dalam terbesar saat kritis.

Pada saat pelaksanaan *staging analysis* beban *deck* akan dipikul oleh *form traveler* kemudian akan disalurkan pada jembatan. Konfigurasi pembebanan dapat dilihat pada Tabel 4.22 berikut ini.

**Tabel 4.22** Konfigurasi pembebanan saat *staging analysis*

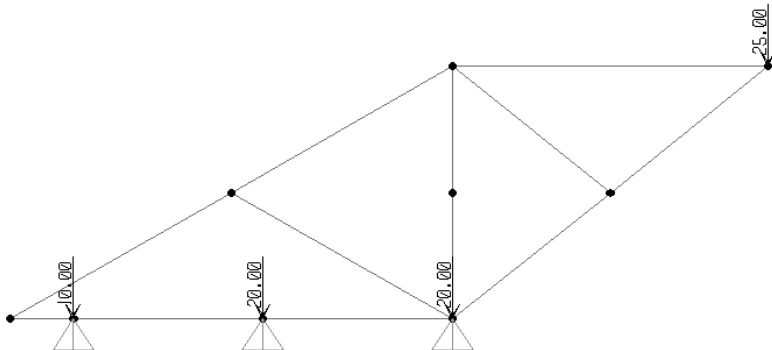
| Kasus | Konfigurasi Beban                        |
|-------|--|
| 1     | DL + ADL + <i>Form Traveler</i> + $EW_s$ |

Berikut ini adalah dimensi *form traveler* yang digunakan dalam *staging analysis* dapat dilihat pada Gambar 4.60.



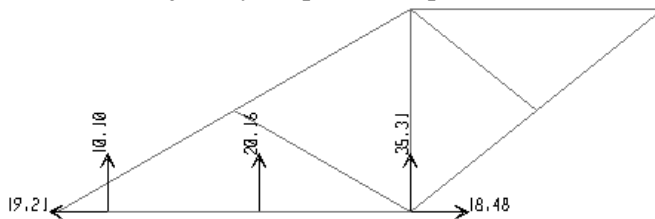
**Gambar 4.60** (A) tampak depan, (B) potongan A-A  
(dalam mm)

Sebelum beban *staging analysis* diinputkan pada program MIDAS CIVIL 2011, terlebih dahulu dianalisa distribusi pembebanan yang akan diterima pada *form traveler*. Dalam analisa akan menggunakan program bantu SAP2000 karena sudah terbiasa menggunakan program tersebut sehingga terkesan lebih mudah dan cepat, berikut ini ilustrasi analisa yang akan dilakukan sesuai pada Gambar 4.61.



**Gambar 4.61** Permodelan dan input beban untuk *form traveler*

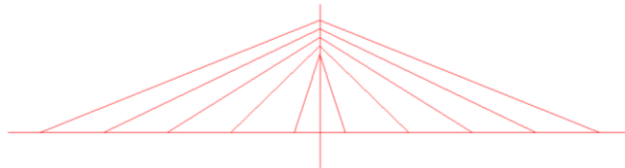
Dalam penginputan beban pada *form traveler* saat permodelan di SAP2000, berat sendiri profil baja diabaikan sehingga beban dianalisa hanya 1500 kN dari perhitungan sebelumnya yang meliputi beban *deck* dan beban *form traveler* yang sebesar 1000 kN. Untuk pembagian beban dibagi menjadi 2 yaitu tiap sisi *form traveler* menerima 750 kN dimana 50 ton untuk berat sendiri, dan 25 ton berat *deck* sehingga total beban yang diterima untuk *form traveler* sebesar 1500 kN. Dari pembebanan tersebut didapat hasil dari analisa SAP2000 untuk *form traveler*. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 4.62.



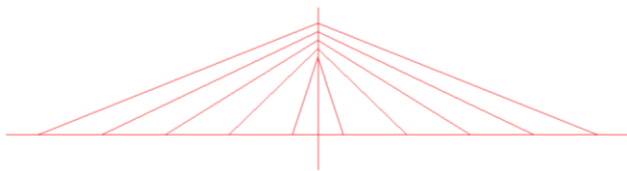
**Gambar 4.62** Hasil analisa reaksi untuk *form traveler*

c) **Hasil Analisa**

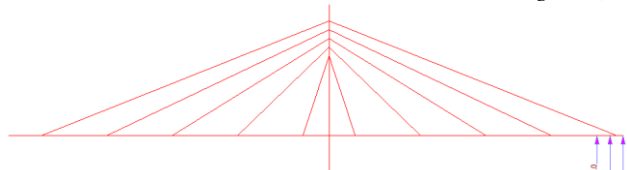
Untuk penginputan beban pada program bantu MIDAS CIVIL seperti pada Gambar 4.63 – Gambar 4.80 . Untuk permodelan *constaction stage* akan dilakukan metode *demolishing procedure* melalui *backward solution* dimana metode dengan pembongkaran dari jembatan sudah terpasang utuh dengan berlawanan arah. Beban yang diinput berupa reaksi perlawanan dari *deck*. Berikut ini tahapan *staging analysis* beserta pembebanan dari *form traveler*.



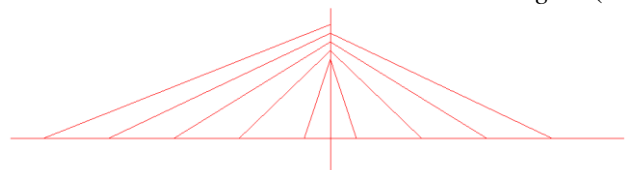
**Gambar 4.63** Permodelan saat *Constraction Stage 0* (CS 0)



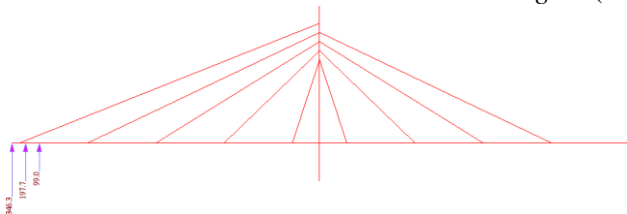
**Gambar 4.64** Permodelan saat *Constraction Stage 1* (CS 1)



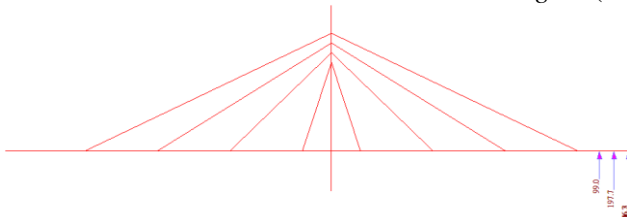
**Gambar 4.65** Permodelan saat *Constraction Stage 2* (CS 2)



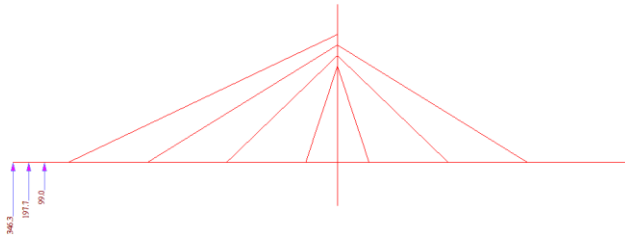
**Gambar 4.66** Permodelan saat *Constraction Stage 3* (CS 3)



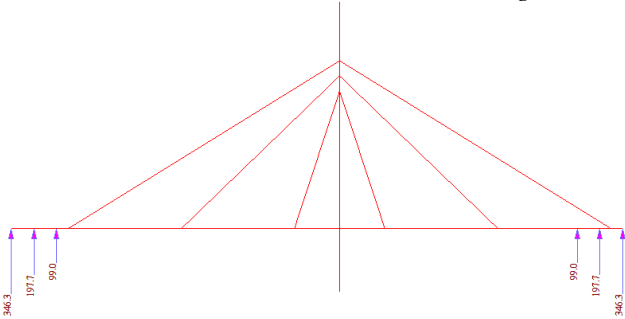
**Gambar 4.67** Permodelan saat *Constraction Stage 4* (CS 4)



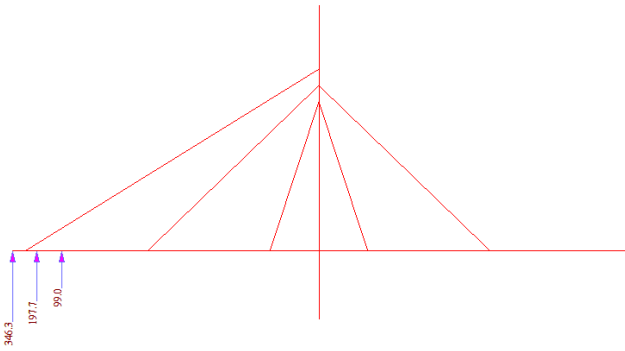
**Gambar 4.68** Permodelan saat *Constraction Stage 5* (CS 5)



**Gambar 4.72** Permodelan saat *Constraction Stage 10* (CS 10)

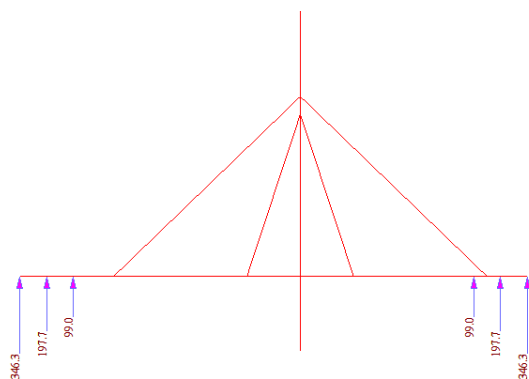


**Gambar 4.73** Permodelan saat *Constraction Stage 16* (CS 16)

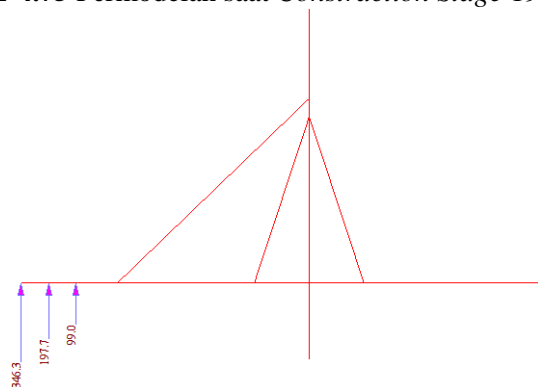


**Gambar 4.74** Permodelan saat *Constraction Stage 18* (CS 18)

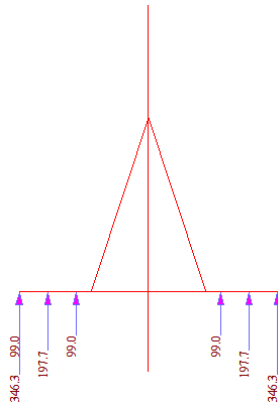




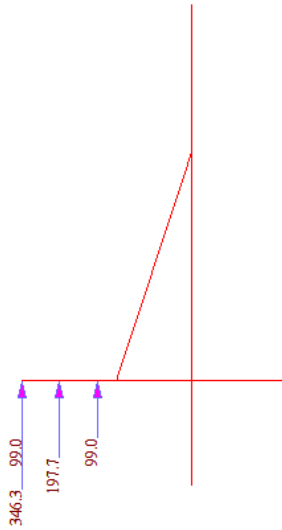
**Gambar 4.75** Permodelan saat *Construction Stage 19* (CS 19)



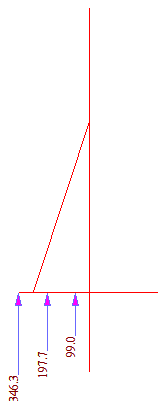
**Gambar 4.76** Permodelan saat *Construction Stage 23* (CS 23)



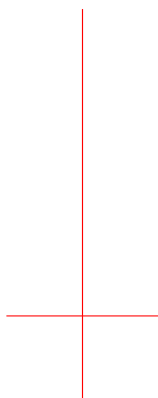
**Gambar 4.77** Permodelan saat *Construction Stage 29* (CS 29)



**Gambar 4.78** Permodelan saat *Construction Stage 31* (CS 31)



**Gambar 4.79** Permodelan saat *Constraction Stage 32* (CS 32)



**Gambar 4.80** Permodelan saat *Constraction Stage 33* (CS 33)

Berikut ini adalah hasil dari *staging analysis* tersebut yang menggunakan metode *demolishing procedure* dan hasil dari beberapa kombinasi pada Tabel 4.23, Tabel 4.24, dan Tabel 4.25 :

**Tabel 4.23** Hasil dari pembebanan saat *staging analysis* untuk  
*box girder*

| Elem | Load      | Stage | Axial (kN) | Shear-y (kN) | Shear-z (kN) | Torsion (kN·m) | Moment-y (kN·m) | Moment-z (kN·m) |
|------|-----------|-------|------------|--------------|--------------|----------------|-----------------|-----------------|
| 215  | Summation | CS 25 | 6232.18    | 200.85       | -71.02       | -80.44         | 1176.25         | 391.39          |
| 353  | Summation | CS 30 | 637.99     | 534.12       | -169.77      | -244.64        | 333.42          | 868.2           |
| 215  | Summation | CS 26 | -460.88    | 35.87        | -715.84      | -114.82        | -3720.79        | -34.66          |
| 353  | Summation | CS 31 | 0          | -33.46       | -164.88      | -758.55        | 3477.29         | 190.54          |
| 350  | Summation | CS 26 | -17.52     | 184.49       | 220.26       | -541.6         | 10313.78        | 457.95          |
| 222  | Summation | CS 30 | -26.22     | 358.46       | 120.68       | -577.07        | 1041.73         | 1859.82         |

**Tabel 4.24** Hasil dari pembebanan saat *staging analysis* untuk  
kabel

| Kabel   | Elem | Load      | Stage | Step      | Force-I (kN) | Force-J (kN) |
|---------|------|-----------|-------|-----------|--------------|--------------|
| kabel 1 | 334  | Summation | CS 0  | 001(last) | 6.39911      | -7.39911     |
|         | 316  | Summation | CS 1  | 001(last) | 5.39911      | -8.39911     |
| kabel 2 | 322  | Summation | CS 0  | 001(last) | 8.65956      | -9.15687     |
|         | 320  | Summation | CS 1  | 001(last) | 6.6582       | -10.1582     |
| kabel 3 | 324  | Summation | CS 0  | 001(last) | 845.415      | 754.1714     |
|         | 340  | Summation | CS 1  | 001(last) | 765.415      | 874.1714     |
| kabel 4 | 328  | Summation | CS 1  | 001(last) | 868.074      | 720.3919     |
|         | 344  | Summation | CS 0  | 001(last) | 728.074      | 950.3919     |
| kabel 5 | 358  | Summation | CS 0  | 001(last) | 871.931      | 536.8576     |
|         | 360  | Summation | CS 0  | 001(last) | 536.858      | 871.9309     |

**Tabel 4.25** Hasil dari pembebanan saat *staging analysis* untuk  
*pylon*

| Potongan Pylon | Elem | Load      | Stage | Axial (kN) | Shear-y (kN) | Shear-z (kN) | Torsion (kN·m) | Moment-y (kN·m) | Moment-z (kN·m) |
|----------------|------|-----------|-------|------------|--------------|--------------|----------------|-----------------|-----------------|
| A-A            | 153  | Summation | CS 0  | -16052.1   | -155.28      | 0            | 0              | 0               | -770.79         |
|                | 154  | Summation | CS 0  | -9283.14   | -1203.62     | 0            | 0              | 0               | 1051.53         |
|                | 162  | Summation | CS 11 | -2746.32   | 76.18        | 8.06         | 0.42           | 11.51           | 405.17          |
|                | 152  | Summation | CS 11 | -5876.87   | 572.56       | -4.06        | -18.04         | 76.07           | 828.88          |
|                | 153  | Summation | CS 11 | -8171.88   | -164.81      | 4.06         | 6.23           | 156.04          | -354.92         |
|                | 152  | Summation | CS 1  | -8752.9    | 902.86       | 0            | 0              | 0               | 1875.1          |
| B-B            | 155  | Summation | CS 0  | 868.34     | 0            | 763.39       | 0              | -2314.33        | 0               |
| C-C            | 156  | Summation | CS 0  | -2506.41   | 0            | -266.74      | 0              | -533.11         | 0               |
|                | 156  | Summation | CS 0  | -1006.41   | 0            | 767.06       | 0              | -535.09         | 0               |
|                | 315  | Summation | CS 0  | -224.65    | 0            | -267.03      | 0              | -869.38         | 0               |
|                | 156  | Summation | CS 11 | -496.38    | 0            | -266.93      | 0              | -558.7          | 1.47            |

**Tabel 4.26** Hasil beban *ultimate* untuk *box girder*

| Elem | Load    | Part   | Axial (kN) | Shear-y (kN) | Shear-z (kN) | Torsion (kN·m) | Moment-y (kN·m) | Moment-z (kN·m) |
|------|---------|--------|------------|--------------|--------------|----------------|-----------------|-----------------|
| 221  | Kasus 3 | I[106] | -8729.54   | 195.52       | 877.39       | 279.36         | -17284.83       | -77.5           |
| 266  | Kasus 4 | J[197] | -90.75     | -747.6       | 1062.68      | 2777.99        | 37.11           | 372.58          |
| 170  | Kasus 1 | I[2]   | 0.27       | 396.05       | -3646.95     | -1112.31       | -0.11           | 0.14            |
| 252  | Kasus 4 | I[165] | -455.6     | -329.27      | 138.06       | 6640.06        | 13776.2         | -7935.45        |
| 323  | Kasus 1 | J[33]  | 969.08     | 31.26        | -128.82      | -484.95        | 33996.2         | 36.84           |
| 206  | Kasus 4 | J[77]  | -4810.77   | 46.49        | 299.21       | -4046.04       | -4424.52        | -11058.08       |

**Tabel 4.27** Hasil beban layan untuk *box girder*

| Elem | Load     | Part   | Axial (kN) | Shear-y (kN) | Shear-z (kN) | Torsion (kN·m) | Moment-y (kN·m) | Moment-z (kN·m) |
|------|----------|--------|------------|--------------|--------------|----------------|-----------------|-----------------|
| 353  | Kasus 9  | I[356] | -5780.19   | 161.45       | -813.1       | -969.33        | -15439.64       | -7265.94        |
| 266  | Kasus 9  | J[197] | -61.21     | -621.19      | 1361.13      | 2195.1         | 25.04           | 251.6           |
| 169  | Kasus 7  | I[3]   | 64.79      | 206.56       | -2896.68     | -1142.99       | -26.5           | 265.02          |
| 323  | Kasus 9  | J[33]  | -523.2     | 243.13       | -175.86      | -4998.96       | 15197.08        | -5553.64        |
| 323  | Kasus 10 | J[33]  | 1272.52    | 16.06        | -20.17       | -283.13        | 24007.97        | 21.5            |
| 231  | Kasus 9  | J[355] | -2703.43   | 37.76        | 15.82        | 3357.25        | -2710.13        | -8019.92        |

**Tabel 4.28** Hasil beban *ultimate* untuk kabel

| Kabel   | Elem | Load    | Force-I (kN) | Force-J (kN) |
|---------|------|---------|--------------|--------------|
| Kabel 1 | 318  | Kasus 1 | -2422.12     | -2442.88     |
| Kabel 2 | 322  | Kasus 3 | 2352.335     | 2335.874     |
| Kabel 3 | 340  | Kasus 3 | 4125.01      | 4112.479     |
| Kabel 4 | 328  | Kasus 1 | 4175.06      | 4166.437     |
| Kabel 5 | 360  | Kasus 3 | 3157.369     | 3162.983     |

**Tabel 4.29** Hasil beban layan untuk kabel

| Kabel   | Elem | Load     | Force-I (kN) | Force-J (kN) |
|---------|------|----------|--------------|--------------|
| Kabel 1 | 318  | Kasus 10 | -2060.93     | -2079.8      |
| Kabel 2 | 322  | Kasus 12 | 1344.28      | 1329.316     |
| Kabel 3 | 340  | Kasus 12 | 2673.672     | 2662.281     |
| Kabel 4 | 330  | Kasus 7  | 2814.251     | 2806.413     |
| Kabel 5 | 359  | Kasus 9  | 2731.265     | 2726.161     |

**Tabel 4.30** Hasil beban *ultimate* untuk *pylon*

| Potongan Pylon | Elem | Load     | Part   | Axial (kN) | Shear-y (kN) | Shear-z (kN) | Torsion (kN·m) | Moment-y (kN·m) | Moment-z (kN·m) |
|----------------|------|----------|--------|------------|--------------|--------------|----------------|-----------------|-----------------|
| A-A            | 362  | Kasus 3  | I[204] | -26157.3   | 333.14       | 96.84        | -1232.49       | 2587.87         | 7292.49         |
|                | 368  | Kasus 1  | I[218] | -2666.98   | 3271.3       | 446.72       | 149.42         | 2155.72         | 12524.68        |
|                | 363  | Kasus 19 | J[206] | -15790.9   | 658.37       | 2935.25      | 953.84         | 5356.09         | 14424.44        |
|                | 363  | Kasus 14 | I[202] | -16678.2   | 2048.65      | 2082.69      | 4245.41        | 5255.2          | 53865.94        |
|                | 363  | Kasus 18 | I[202] | -15530.1   | 523.37       | 2890.61      | 672.18         | 14595.71        | 12655.4         |
|                | 375  | Kasus 14 | I[203] | -18359.8   | 2064.03      | 235.54       | 3234.53        | 2068.16         | 65952.78        |
| B-B            | 155  | Kasus 3  | J[202] | 2452.63    | 70.49        | 789.49       | 356.7          | -2992.59        | -599.21         |
|                | 155  | Kasus 2  | J[202] | 1974.44    | 70.49        | 1034.11      | 356.7          | -4869.51        | -978.65         |
|                | 155  | Kasus 18 | J[202] | 1640.15    | 11.75        | 1666.97      | 59.46          | 4166.5          | 121.09          |
|                | 155  | Kasus 4  | J[202] | 1496.25    | 0            | 1207.56      | 0              | -6141.49        | 0               |
|                | 155  | Kasus 16 | I[201] | 1713.94    | 11.75        | -534.87      | 59.47          | -516.47         | 1047.22         |
| C-C            | 156  | Kasus 3  | J[208] | -3726.05   | -105.73      | 295.05       | 250.11         | -538.3          | 666.11          |
|                | 315  | Kasus 2  | I[210] | -519.24    | -276.73      | -497.84      | 244.23         | -2000.81        | -1699.54        |
|                | 156  | Kasus 18 | J[208] | -2402.4    | -17.62       | 1119.42      | 41.69          | 4115.89         | 160.75          |
|                | 156  | Kasus 18 | I[207] | -2402.4    | -17.62       | 532.25       | 41.69          | 4634.64         | -61.28          |
|                | 315  | Kasus 2  | J[209] | -519.24    | -276.73      | 89.33        | 244.23         | 572.81          | 1787.27         |

**Tabel 4.31** Hasil beban layan untuk *pylon*

| Potongan Pylon | Elem | Load     | Part   | Axial (kN) | Shear-y (kN) | Shear-z (kN) | Torsion (kN·m) | Moment-y (kN·m) | Moment-z (kN·m) |
|----------------|------|----------|--------|------------|--------------|--------------|----------------|-----------------|-----------------|
| A-A            | 362  | Kasus 12 | I[204] | -19048.4   | 240.6        | 95.94        | -890.13        | 1671.12         | 5266.8          |
|                | 368  | Kasus 10 | I[218] | -1713.33   | 2186.04      | 318.38       | 99.87          | 1301.28         | 8369.8          |
|                | 363  | Kasus 9  | I[202] | -14536.82  | 145.92       | 1874.31      | -1017.61       | 6190.32         | 3206.54         |
|                | 385  | Kasus 11 | I[205] | -14820.07  | -774.69      | 692.07       | -2553.78       | 5370.79         | -17710.17       |
|                | 376  | Kasus 8  | I[205] | -15385.32  | 595.91       | -1067        | -78.72         | -8752.04        | -13763.89       |
| B-B            | 375  | Kasus 11 | I[203] | -16902.59  | -825.6       | 23.97        | 56.38          | 749.97          | -24728.16       |
|                | 155  | Kasus 12 | J[202] | 1689.56    | 50.91        | 717.23       | 257.62         | -2487.85        | -432.76         |
|                | 155  | Kasus 8  | J[202] | 1295.84    | 39.16        | 1144.41      | 198.17         | -5952.25        | -543.69         |
| C-C            | 155  | Kasus 11 | J[202] | 1369.66    | 50.91        | 883.73       | 257.62         | -3767.73        | -706.8          |
|                | 156  | Kasus 12 | J[208] | -2544.12   | -76.36       | 267.78       | 180.63         | -512.12         | 481.08          |
|                | 315  | Kasus 12 | I[210] | -432.01    | -199.86      | -267.62      | 176.39         | -646.2          | -1259.13        |
|                | 156  | Kasus 8  | J[208] | -1926.17   | -58.74       | 699.55       | 138.95         | -3250.98        | 343.3           |
|                | 315  | Kasus 11 | J[209] | -321.12    | -199.86      | 128          | 176.39         | 257.12          | 1290.8          |

Dari tabel diatas dapat dilihat bahwa gaya-gaya yang dihasilkan saat *staging analysis* tidak menentukan, karena gaya yang diperoleh lebih kecil saat beban layan bekerja.

## 4.5. Gelagar Utama

Desain gelagar utama berbeda dengan hasil perhitungan preliminary karena penampang preliminary tidak mencukupi sehingga mengganti dimensi. Gelagar utama didesain menggunakan *twin rectangular box girder* dengan dimensi 1800.1200.50.50 dimana terdapat rusuk pada sisi kanan, kiri, atas dan bawah sesuai pada Gambar 4.81 Pada bab ini akan menghitung kemampuan gelagar utama yang menerima gaya akibat berbagai beban dan kombinasi yang telah direncanakan sebelumnya.

### 4.5.1. Data Gelagar Utama

Data perencanaan gelagar :

BJ 41 →  $f_u$  = 410 MPa

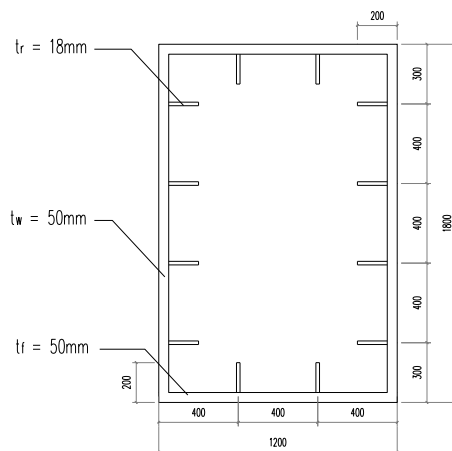
$f_y$  = 250 Mpa

$H$  = 1800 mm  $S_1$  sayap = 400 mm

$B$  = 1200 mm  $S_2$  badan = 400 mm

$t_f$  = 50 mm  $t_r$  = 18 mm

$t_w$  = 50 mm  $h_r$  = 200 mm



**Gambar 4.81** Dimensi gelagar utama (dalam cm)



$$\begin{aligned}
 A &= 3524 \text{ cm}^2 & r_x &= 686,097 \text{ mm} \\
 I_x &= 16588494 \text{ cm}^4 & r_y &= 599,541 \text{ mm} \\
 I_y &= 12666996 \text{ cm}^4 \\
 Z_x &= 219430 \text{ cm}^3 \\
 Z_y &= 195700 \text{ cm}^3
 \end{aligned}$$

Berikut ini *section data* dan *section properties* didapat dari program bantu MIDAS CIVIL dan SAP2000 dapat dilihat pada Gambar 4.82

**Section Data**

DB/User |

Section ID: 1

Name: G. U. BOX

Box with Stiffener

Sect. Name: [Built-Up Section]

Get Data from Single Angle

DB Name: AISC200(JIS)

Sect. Name: [ ]

H: 180 cm

B: 120 cm

tf: 5 cm

tw: 5 cm

S1: 40 cm

HR1: 15 cm

tr1: 1.8 cm

S2: 40 cm

HR2: 15 cm

tr2: 1.8 cm

☒ Consider Shear Deformation.

Offset: Center-Top

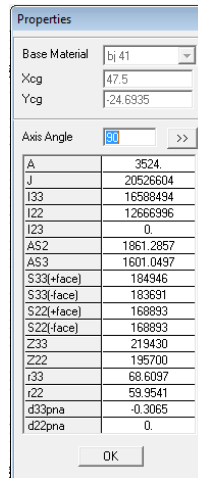
Change Offset ...

Show Calculation Results... OK Cancel Apply

**Section Properties**

|          | Value          | Unit            |
|----------|----------------|-----------------|
| Area     | 3.524000e+003  | cm <sup>2</sup> |
| Asy      | 1.716000e+003  | cm <sup>2</sup> |
| Asz      | 1.908000e+003  | cm <sup>2</sup> |
| Ixx      | 2.012191e+007  | cm <sup>4</sup> |
| Iyy      | 1.666442e+007  | cm <sup>4</sup> |
| Izz      | 1.264270e+007  | cm <sup>4</sup> |
| Cyp      | 7.500000e+001  | cm              |
| Cym      | 7.500000e+001  | cm              |
| Czp      | 9.000000e+001  | cm              |
| Czm      | 9.000000e+001  | cm              |
| Qyb      | 1.102550e+004  | cm <sup>3</sup> |
| Qzb      | 9.758000e+003  | cm <sup>3</sup> |
| Peri.O   | 6.600000e+002  | cm              |
| Peri.I   | 9.800000e+002  | cm              |
| Center.y | 7.500000e+001  | cm              |
| Center.z | 9.000000e+001  | cm              |
| y1       | -7.500000e+001 | cm              |
| z1       | 9.000000e+001  | cm              |
| y2       | 7.500000e+001  | cm              |
| z2       | 9.000000e+001  | cm              |
| y3       | 7.500000e+001  | cm              |
| z3       | -9.000000e+001 | cm              |
| y4       | -7.500000e+001 | cm              |
| z4       | -9.000000e+001 | cm              |

Close



**Gambar 4.82** Analisa section data dan section properties

#### 4.5.2. Hasil Analisa Struktur

Analisa struktur gelagar utama dilakukan menggunakan program bantu MIDAS CIVIL sehingga mendapatkan hasil output dengan berbagai kombinasi yang sesuai dengan bab sebelumnya dengan maksud mendapatkan nilai gaya maksimum dan minimum lihat Tabel 4.32 berikut ini.

**Tabel 4.32** Gaya dalam pada gelagar utama

| Load     | Axial<br>(kN) | Shear-y<br>(kN) | Shear-z<br>(kN) | Torsion<br>(kN-m) | Moment-y<br>(kN-m) | Moment-z<br>(kN-m) |
|----------|---------------|-----------------|-----------------|-------------------|--------------------|--------------------|
| Maksimum | 2261.14       | 747.6           | 3017.12         | 6640.06           | 33996.2            | 3206.72            |
| Minimum  | -8729.54      | -747.6          | -3646.95        | -6640.06          | -19515.12          | -11058.08          |

#### Kontrol Kemampuan Penampang

##### a. Analisa Kuat Aksial

Analisa Batang Tarik (SNI 1729-2015 D)

$$\begin{aligned}
 N_n &= A_g \cdot f_y \\
 &= 3524 \cdot 10^2 \text{ mm}^2 \cdot 250 \text{ N/mm}^2 \\
 &= 88100000 \text{ N} = 88100 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Syarat  $N_u < \phi N_n$

$$N_u = 8729,54 \text{ kN}$$

$$\phi N_n = 0,9 \cdot 88100 \text{ kN}$$

$$= 79290 \text{ kN}$$

$$\begin{array}{ccc} N_u & < & \phi N_n \\ 8729,54 \text{ kN} & < & 79290 \text{ kN} \dots (\text{OK}) \end{array}$$

Analisa Batang Tekan (SNI 1729-2015 E)

*Analisa kelangsingan*

- *Sumbu Z*

$$\begin{aligned} \lambda_r &= 5,70 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \\ &= 5,70 \sqrt{\frac{200000}{250}} \\ &= 161,22 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} h/t_w &= \frac{1700}{50} \\ &= 34 \end{aligned}$$

$h/t_w < \lambda_r$ , maka termasuk elemen non langsing

$$\lambda_x = \frac{k_x \cdot L_x}{r_x}$$

$L_x = 6000 \text{ mm}$  (panjang segmen deck yang diangkat)

$$\begin{aligned} \lambda_x &= \frac{1.6000}{667,5509} \\ &= 8,99 \end{aligned}$$

- Sumbu Y

$$\begin{aligned}\lambda_r &= 1,40 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \\ &= 1,40 \sqrt{\frac{200000}{250}} \\ &= 39,6 \\ \frac{b}{t_f} &= \frac{1100}{50} \\ &= 22\end{aligned}$$

$b/t_f < \lambda_r$ , maka termasuk elemen non langsing

$$\begin{aligned}\lambda_y &= \frac{k_y \cdot L_y}{r_y} \\ L_y &= 6200 \text{ mm (B + 0,5 g. melintang + g. kantilever)} \\ \lambda_y &= \frac{1 \cdot 6200}{599,541} \\ &= 10,34 \text{ (menentukan)}\end{aligned}$$

Digunakan nilai  $\lambda$  dengan nilai terbesar = 10,34  
Tegangan kritis,  $F_{cr}$  ditentukan sebagai berikut :

$$\begin{aligned}\lambda_y &= \frac{k_y \cdot L_y}{r_y} < 4,71 \sqrt{\frac{E}{f_y}} \\ &= 10,34 < 133,22\end{aligned}$$

Nilai  $F_{cr}$  diperoleh sebagai berikut: (SNI 1729-2015 E3-2)

$$F_{cr} = \left[ 0,658^{\frac{f_y}{F_c}} \right] \cdot f_y$$

$$\begin{aligned}
 F_e &= \frac{\pi^2 \cdot E}{\left( \frac{K \cdot L}{r} \right)^2} \\
 &= \frac{\pi^2 \cdot 200000}{10,34^2} \\
 &= 190878,47 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F_{cr} &= \left[ 0,658^{\frac{500}{190878,47}} \right] \cdot 250 \\
 &= 249,9 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \phi N_n &= \phi \cdot F_{cr} \cdot A_g \\
 &= 0,9 \cdot 249,9 \cdot 3524 \cdot 100 \\
 &= 79246545,96 \text{ N} \\
 &= 79246,54 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{array}{rcl}
 N_u & < & \phi N_n \\
 8729,54 \text{ kN} & < & 79246,54 \text{ kN} \dots (\text{OK})
 \end{array}$$

## b. Analisa Kuat Geser

Kontrol Geser Arah Y (pada sayap)

$$V_{uy} = 747,6 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned}
 A_f &= 2 \cdot t_f \cdot B \\
 &= 2 \cdot 50 \text{ mm} \cdot 1200 \text{ mm} \\
 &= 120000 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 b/t_f &= \frac{1100}{50} \\
 &= 22
 \end{aligned}$$

$$k_v = 5 + \frac{5}{(a_1 / b)^2} \quad (\text{SNI 1729-2015 G2})$$

$$a_1 = S_{1 \text{ sayap}} = \text{jarak bersih antara pengaku} = 400 \text{ mm}$$

$$k_v = 5 + \frac{5}{(400/1100)^2}$$

$$= 42,813$$

$$1,10 \cdot \sqrt{k_v \cdot E / f_y} = 1,10 \cdot \sqrt{42,813 \cdot 200000 / 250} = 203,57$$

$$b/t_f \leq 1,10 \cdot \sqrt{k_v \cdot E / f_y}, \text{ maka } C_v = 1,0$$

$$\begin{aligned} \phi V_n &= \phi \cdot 0,6 \cdot f_y \cdot A_f \cdot C_v \\ &= 0,75 \cdot 0,6 \cdot 250 \text{ N/mm}^2 \cdot 120000 \text{ mm}^2 \cdot 1 \\ &= 13500000 \text{ N} \\ &= 13500 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{array}{ll} V_{uy} & < & \phi V_{ny} \\ 747,6 \text{ kN} & < & 13500 \text{ kN} \dots (\text{OK}) \end{array}$$

#### Kontrol Geser Arah Z (pada badan)

$$V_{uz} = 3646,95 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} A_b &= 2 \cdot t_w \cdot h \\ &= 2 \cdot 50 \text{ mm} \cdot (1800-100) \text{ mm} \\ &= 170000 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} h/t_w &= \frac{1700}{50} \\ &= 34 \end{aligned}$$

$$k_v = 5 + \frac{5}{(a_1/b)^2} \quad (\text{SNI 1729-2015 G2})$$

$$a_2 = S_2 \text{ badan} = \text{jarak bersih antara pengaku} = 400 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} k_v &= 5 + \frac{5}{(400/1700)^2} \\ &= 95,313 \end{aligned}$$

$$1,10 \cdot \sqrt{k_v \cdot E / f_y} = 1,10 \cdot \sqrt{95,313 \cdot 200000 / 250} = 303,75$$

$$h/t_w \leq 1,10 \cdot \sqrt{k_v \cdot E / f_y}, \text{ maka } C_v = 1,0$$

$$\begin{aligned}\phi V_n &= \phi \cdot 0,6 \cdot f_y \cdot A_b \cdot C_v \\ &= 0,75 \cdot 0,6 \cdot 250 \text{ N/mm}^2 \cdot 170000 \text{ mm}^2 \cdot 1 \\ &= 19125000 \text{ N} \\ &= 19125 \text{ kN}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}V_{uz} &< \phi V_{nz} \\ 3646,95 \text{ kN} &< 19125 \text{ kN} \dots (\text{OK})\end{aligned}$$

### c. Analisa Kuat Lentur

Untuk memperoleh nilai modulus plastis penampang box girder 1800.1200.50.50 menggunakan program bantu SAP2000 sebagai berikut pada Gambar 4.83.

| Property Data                  |           |                                 |           |
|--------------------------------|-----------|---------------------------------|-----------|
| Section Name                   |           | GU 1800.1200                    |           |
| Properties                     |           |                                 |           |
| Cross-section (axial) area     | 3524      | Section modulus about 3 axis    | 183691.09 |
| Torsional constant             | 20526604  | Section modulus about 2 axis    | 168893.28 |
| Moment of Inertia about 3 axis | 16588494  | Plastic modulus about 3 axis    | 219430    |
| Moment of Inertia about 2 axis | 12666396  | Plastic modulus about 2 axis    | 195700    |
| Shear area in 2 direction      | 1861.2857 | Radius of Gyration about 3 axis | 68.6097   |
| Shear area in 3 direction      | 1601.0497 | Radius of Gyration about 2 axis | 59.9541   |

**Gambar 4.83** Penampang *Box*

Dari analisa menggunakan SAP2000 didapat nilai berikut ini :

$$\begin{aligned}Z_x &= Z_y = 219430 \text{ cm}^3 \\ Z_y &= Z_z = 195700 \text{ cm}^3\end{aligned}$$

Kontrol Tekuk Lokal (SNI 1729-2015 Tabel B4.1)

$$\begin{aligned}
 \lambda &= \frac{b}{2.t} & \lambda_p &= 1,12 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} \\
 &= \frac{1100}{2.50} & &= 1,12 \cdot \sqrt{\frac{200000}{250}} \\
 &= 11 & &= 31,68 \\
 && \lambda &< \lambda_p \dots (\text{OK})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \lambda &= \frac{h}{2.t} & \lambda_p &= 2,42 \cdot \sqrt{\frac{E}{f_y}} \\
 &= \frac{1700}{2.50} & &= 2,42 \cdot \sqrt{\frac{200000}{250}} \\
 &= 17 & &= 68,5 \\
 && \lambda &< \lambda_p \dots (\text{OK})
 \end{aligned}$$

Karena nilai  $\lambda < \lambda_p$ , maka gelagar utama *box girder* termasuk penampang kompak.

Momen Arah Y (pada sayap)

$$\begin{aligned}
 M_{uy} &= 33996,2 \text{ kNm} \\
 M_{ny} &= M_{py} \\
 &= Z_y \cdot f_y \\
 &= (219430 \cdot 10^3 \cdot 250) \text{ Nmm} \\
 &= 5,48575 \cdot 10^{10} \text{ Nmm} \\
 &= 54857,5 \text{ kNm} \\
 \phi M_{ny} &= 0,9 \cdot 54857,5 \text{ kNm} \\
 &= 49371,75 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 M_{uy} &< \phi M_{ny} \\
 33996,2 \text{ kNm} &< 49371,75 \text{ kNm} \dots (\text{OK})
 \end{aligned}$$



Momen Arah Z

$$M_{uz} = 11058,08 \text{ kNm}$$

$$\begin{aligned} M_{nz} &= M_{py} \\ &= Z_z \cdot f_y \\ &= (195700 \cdot 10^3 \cdot 250) \text{ Nmm} \\ &= 4,8925 \cdot 10^{10} \text{ Nmm} \\ &= 48925 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi M_{nz} &= 0,9 \cdot 48925 \text{ kNm} \\ &= 44032,5 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{array}{ll} M_{uz} & < \quad \phi M_{nz} \\ 11058,08 \text{ kN} & < \quad 44032,5 \text{ kN} \dots (\text{OK}) \end{array}$$

**d. Kombinasi Lentur dan Aksial**

Kontrol kemampuan penampang yang berupa simetris ganda dengan interaksi lentur dan aksial. (SNI 1729-2015 H1)

$$\begin{aligned} P_r &= P_u = 8729,54 \text{ kN} \\ P_c &= \phi P_n = 79246,55 \text{ kN} \\ M_{rx} &= M_{uy} = 33996,2 \text{ kNm} \\ M_{cx} &= \phi M_{ny} = 49371,75 \text{ kNm} \\ M_{ry} &= M_{uz} = 11058,08 \text{ kNm} \\ M_{cy} &= \phi M_{nz} = 44032,5 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\frac{P_r}{P_c} = \frac{8729,54}{79246,55} = 0,11 \leq 0,2$$

maka digunakan rumus 2 sebagai berikut :

$$\frac{P_r}{2P_c} + \left( \frac{M_{rx}}{M_{cx}} + \frac{M_{ry}}{M_{cy}} \right) \leq 1,0$$

$$0,99479 \leq 1,0$$

### e. Analisa Kuat Torsi

Kontrol kemampuan torsi untuk penampang persegi berongga

$$\begin{aligned} T_u &= 6640,06 \text{ kNm} \\ &= 6640060000 \text{ Nmm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{h}{t} &= \frac{1700}{50} \\ &= 34 \end{aligned}$$

$$2,45 \sqrt{\frac{E}{f_y}} = 2,45 \sqrt{\frac{200000}{250}}$$

$$= 69,3$$

$$\begin{aligned} \text{Maka } f_{cr} &= 0,6 \cdot f_y \\ &= 0,6 \cdot 250 \text{ N/mm}^2 \\ &= 150 \text{ N/mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C &= 2 \cdot (B - t) \cdot (H - t) \cdot t - 4,5 \cdot (4 - \pi \cdot t)^3 \\ &= 2 \cdot (1200 - 50) \cdot (1800 - 50) \cdot 50 - \\ &\quad 4,5 \cdot (4 - \pi \cdot 50)^3 \\ &= 217392275,24 \text{ mm}^3 \end{aligned}$$

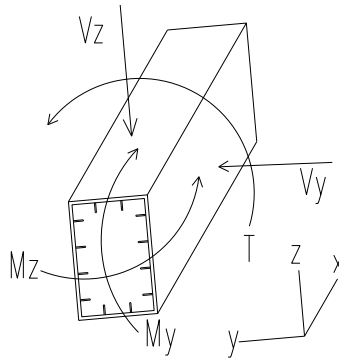
$$\begin{aligned} T_c &= 0,9 \cdot f_{cr} \cdot C \\ &= 0,9 \cdot 150 \text{ N/mm}^2 \cdot 217392275,24 \text{ mm}^3 \\ &= 29347957157,29 \text{ Nmm} \\ &= 29347,96 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_u &< T_c \\ 6640,06 \text{ kNm} &< 29347,96 \text{ kNm} \dots (\text{OK}) \end{aligned}$$

### 4.5.3. Sambungan Gelagar Utama

Sambungan antar gelagar utama berupa sambungan baut dengan pelat baja sebagai penyambung. Sambungan dilakukan pada setiap pertemuan *segmen deck* dimana sambungan tersebut mengelilingi gelagar utama. Beban yang diterima oleh gelagar utama dianggap memikul beban yang sama pada tiap *segmen*. Berikut gaya maksimum dari gelagar utama dan arah gaya dalam *box girder* dapat dilihat pada Gambar 4.84:

$$\begin{aligned}
 N_u &= 8729,54 \text{ kN} \\
 T_u &= 6640,06 \text{ kNm} \\
 V_{uy} &= 747,6 \text{ kN} \\
 V_{uz} &= 3646,95 \text{ kN} \\
 M_{uy} &= 33996,2 \text{ kNm} \\
 M_{uz} &= 11058,08 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$



**Gambar 4.84** Arah gaya dalam *box girder*

Direncanakan baut Ø32 mm

$$\begin{aligned}
 f_u^b &= 500 \text{ Mpa} \\
 A_b &= 0,25 \cdot \pi \cdot (32 \text{ mm})^2 \\
 &= 804,25 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Lubang perlemahan ( $d_p$ )

$$\begin{aligned}
 d_p &= 32 \text{ mm} + 1,5 \text{ mm} \\
 &= 33,5 \text{ mm (di bor)}
 \end{aligned}$$

Pelat penyambung

$$\begin{aligned}
 t_p &= 25 \text{ mm (dipasang dua bidang geser, luar dan dalam)} \\
 B_J &= 41 \\
 f_u &= 410 \text{ Mpa} \\
 f_y &= 250 \text{ Mpa}
 \end{aligned}$$

- Kuat nominal satu (1) baut
- a. Kuat geser (Vd)
- $$r_1 = 0,5 \text{ (tidak ada ulir pada bidang geser)}$$
- $$m = 1 \text{ (satu bidang geser)}$$
- $$\begin{aligned}\phi V_n &= \phi_f \cdot r_1 \cdot f_u^b \cdot A_b \cdot m \\ &= 0,75 \cdot 0,5 \cdot 500 \cdot 804,25 \cdot 2 \\ &= 301592,89 \text{ N} \\ &= 301,59 \text{ kN (menentukan)}\end{aligned}$$
- b. Kuat tumpu (Rd)
- $$\begin{aligned}\phi R_n &= \phi_f \cdot 2,4 \cdot d_b \cdot t_p \cdot f_u \\ &= 0,75 \cdot 2,4 \cdot 32 \cdot 25 \cdot 410 \\ &= 590400 \text{ N} \\ &= 590,4 \text{ kN}\end{aligned}$$
- Dipakai nilai kuat nominal satu (1) baut
- $$\phi V_n = 301,59 \text{ kN}$$

#### Pelat Badan (samping)

- Syarat jarak antar baut
- $$\begin{aligned}3d_b &\leq S \leq 15 \cdot t_p \text{ atau } 200 \text{ mm} \\ 3(32 \text{ mm}) &\leq S \leq 15(25 \text{ mm}) \text{ atau } 200 \text{ mm} \\ 96 \text{ mm} &\leq S \leq 375 \text{ mm atau } 200 \text{ mm}\end{aligned}$$
- Dipakai nilai  $S = 140 \text{ mm}$
- Syarat jarak baut ke tepi pelat
- $$\begin{aligned}1,5d_b &\leq S \leq 12 \cdot t_p \text{ atau } 150 \text{ mm} \\ 1,5(32 \text{ mm}) &\leq S \leq 12(25 \text{ mm}) \text{ atau } 150 \text{ mm} \\ 48 \text{ mm} &\leq S \leq 300 \text{ mm atau } 150 \text{ mm}\end{aligned}$$
- Dipakai nilai  $S = 50 \text{ mm}$

#### Pelat Sayap (atas)

- Syarat jarak antar baut
- $$\begin{aligned}3d_b &\leq S \leq 15 \cdot t_p \text{ atau } 200 \text{ mm} \\ 3(32 \text{ mm}) &\leq S \leq 15(25 \text{ mm}) \text{ atau } 200 \text{ mm} \\ 96 \text{ mm} &\leq S \leq 375 \text{ mm atau } 200 \text{ mm}\end{aligned}$$
- Dipakai nilai  $S = 150 \text{ mm}$

- Syarat jarak baut ke tepi pelat

$$\begin{aligned} 1,5db &\leq S \leq 12 \cdot tp \text{ atau } 150 \text{ mm} \\ 1,5(32 \text{ mm}) &\leq S \leq 12(25 \text{ mm}) \text{ atau } 200 \text{ mm} \\ 48 \text{ mm} &\leq S \leq 300 \text{ mm atau } 200 \text{ mm} \end{aligned}$$

Dipakai nilai  $S = 50 \text{ mm}$

➤ Kebutuhan baut sayap

Untuk menghitung kebutuhan jumlah baut pada sayap *box girder*, maka perlu pembagian gaya dalam yang bekerja pada bagian sayap.

$$\begin{aligned} N_u \text{ untuk sayap} &= N_u \cdot \left( \frac{B}{2(B+H)} \right) \\ &= 8729,54 \cdot \left( \frac{1,2}{2(1,2+1,8)} \right) \\ &= 1745,91 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_u \text{ untuk sayap} &= T_u \cdot \left( \frac{B}{2(B+H)} \right) \\ &= 6640,06 \cdot \left( \frac{1,2}{2(1,2+1,8)} \right) \\ &= 1328,01 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$V_y = 747,6 \text{ kN}$$

$$M_y = 33996,2 \text{ kNm}$$

Untuk arah x

$$\begin{aligned} N_u + M_y/H &= 1745,54 + \left( \frac{33996,2}{1,8} \right) \\ &= 20632,69 \text{ kN} \end{aligned}$$

Untuk arah y

$$T_u/H + V_y = \left( \frac{1328,01}{1,8} \right) + 747,6 \text{ kN}$$

$$= 1485,38 \text{ kN}$$

$$R = \sqrt{x^2 + y^2}$$

$$= \sqrt{20632,69^2 + 1485,38^2}$$

$$= 20686,08 \text{ kN}$$

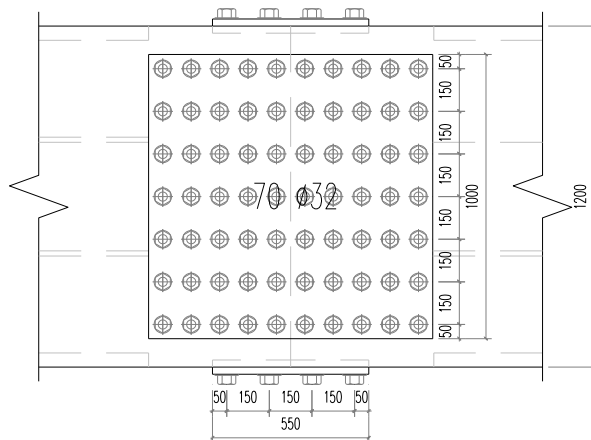
$$N_{\text{baut}} = R/R_u$$

$$= \left( \frac{20686,08}{301,59} \right)$$

$$= 68,59 \text{ buah}$$

Maka dipasang pada sisi bawah dan atas sebanyak 70 buah

Berikut ini ilustrasi sambungan baut pada gelagar utama pada bagian sayap atau sisi atas dan bawah pada Gambar 4.85.



**Gambar 4.85** Sambungan pada sayap atau sisi atas dan bawah  
(dalam mm)

➤ Kebutuhan baut badan

Untuk menghitung kebutuhan jumlah baut pada badan *box girder*, maka perlu pembagian gaya dalam yang bekerja pada bagian badan.

$$\begin{aligned} N_u \text{ untuk badan} &= N_u \cdot \left( \frac{H}{2(B+H)} \right) \\ &= 8729,54 \cdot \left( \frac{1,8}{2(1,2+1,8)} \right) \\ &= 2618,86 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} T_u \text{ untuk badan} &= T_u \cdot \left( \frac{H}{2(B+H)} \right) \\ &= 6640,06 \cdot \left( \frac{1,8}{2(1,2+1,8)} \right) \\ &= 1992,02 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_z &= 3646,95 \text{ kN} \\ M_z &= 11058,08 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Untuk arah x

$$\begin{aligned} N_u + M_z/B &= 2618,86 + \left( \frac{11058,08}{1,2} \right) \\ &= 11833,93 \text{ kN} \end{aligned}$$

Untuk arah z

$$\begin{aligned} T_u/B + V_z &= \left( \frac{1992,02}{1,2} \right) + 3646,95 \text{ kN} \\ &= 5306,97 \text{ kN} \end{aligned}$$

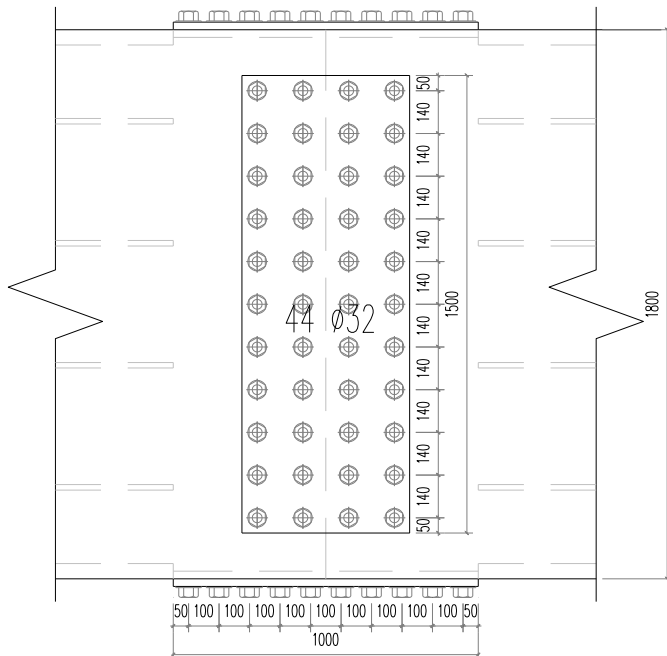
$$\begin{aligned} R &= \sqrt{x^2 + z^2} \\ &= \sqrt{11833,93^2 + 5306,97^2} \end{aligned}$$

$$= 12969,42 \text{ kN}$$

$$\begin{aligned} N_{\text{baut}} &= R/R_u \\ &= \left( \frac{12969,42}{301,59} \right) \\ &= 43 \text{ buah} \end{aligned}$$

Maka dipasang pada sisi kanan dan kiri sebanyak 44 buah

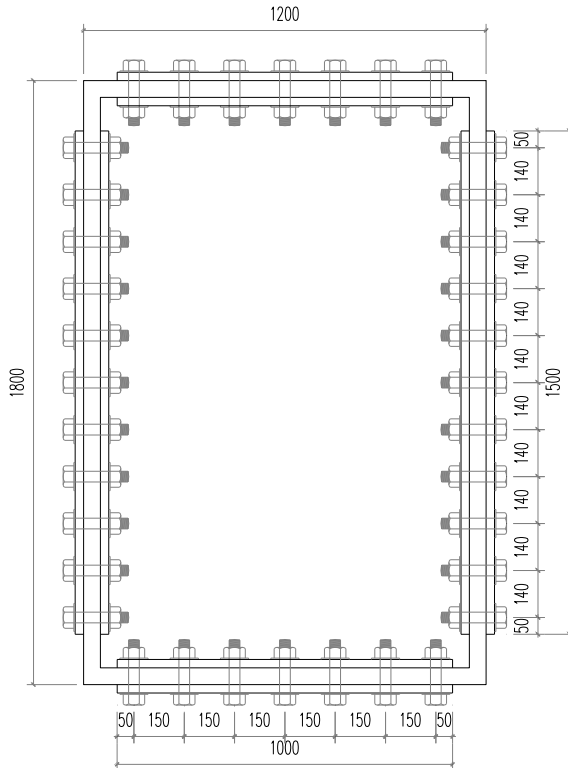
Berikut ini ilustrasi sambungan baut pada gelagar utama pada bagian badan atau sisi samping pada Gambar 4.86.



**Gambar 4.86** Sambungan pada badan atau sisi samping (dalam mm)



Untuk sambungan gelagar utama pada potongan melintang akan terlihat sambungan pada sayap atau sisi atas dan bawah dan sambungan pada badan atau sisi samping dapat dilihat pada Gambar 4.87.



**Gambar 4.87** Sambungan pada potongan melintang gelagar utama (dalam mm)

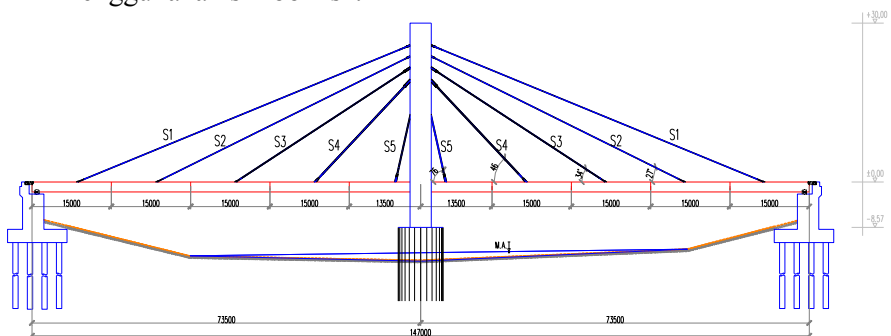
#### 4.6. Struktur Kabel

Struktur kabel merupakan struktur yang penting untuk jembatan *cable stayed*, karena kabel tersebut akan memikul lantai kendaraan dimana lantai kendaraan akan menerima beberapa beban antara lain adalah berat sendiri, beban mati, beban hidup, beban angin, beban saat pelaksanaan, dan beban gempa. Semua beban tersebut akan disalurkan ke *pylon*.

##### 4.6.1. Data Perencanaan

Seperi pada bab sebelumnya yaitu bab preliminary desain menggunakan jenis kabel paralel *VSL 7-wires strand*. Untuk desain kabel, seperti yang dijelaskan pada RSNI T-03-2005 pasal 12.6 dimana kabel yang menjadi pemikul utama harus dibuat dengan material mutu tinggi dengan kuat tarik minimal  $1860 \text{ N/mm}^2$ . maka dipakai kabel dengan tipe ASTM A 416-05 Grade 270.

Penamaan dan penomoran untuk kabel dapat dilihat pada Gambar. 4.88. Dengan pylon berada di tengah bentang dan susunan kabel yang sama sehingga penamaan kabel dengan menggunakan simbol “s”.



**Gambar 4.88** Penamaan dan penomoran kabel

Jumlah strand dan luas kabel pada awalnya sudah ditentukan pada bab preliminary desain seperti pada Tabel 4.33. Luas kabel yang didapatkan dari bab preliminary desain akan

dianalisa dengan bantuan program MIDAS CIVIL sehingga akan diperoleh gaya dalam pada kabel. Setelah gaya dalam kabel diperoleh akan didapatkan luas kabel yang sebenarnya dan kemudian diiterasi kembali pada program MIDAS CIVIL untuk memperoleh gaya dalam kabel yang lebih akurat.

**Tabel 4.33** Jumlah *strand* dan luas kabel pada preliminary desain

| No | $S_1 = m_1$                              | $\alpha$ | $\sin \alpha$   | $\cos \alpha$ | $W_{DL}$                               | $W_{LL}$        |
|----|--|----------|---|---------------|--|-----------------|
|    |  | derajat  |   |               | kN                                     | kN              |
| 1  | 1  | 22       | 0.375   | 0.927         | 668.791                                | 4493.8          |
| 2  | 2  | 26       | 0.438   | 0.899         | 668.791                                | 4493.8          |
| 3  | 3  | 32       | 0.530   | 0.848         | 668.791                                | 4493.8          |
| 4  | 4  | 45       | 0.707   | 0.707         | 668.791                                | 4493.8          |
| 5  | 5  | 75       | 0.966   | 0.259         | 668.791                                | 4493.8          |
| No | $N_{gi} = (WDL + WLL) \cdot \cos \alpha$ |          | $\sigma_g = ((\sigma_{ijin} \sin 2 \alpha) / 2) - \gamma L$ |               | $A_i = \alpha \cdot N_{gi} / \sigma_g$ | $n = A_i / A_s$ |
|    | kN                                       |          | kN/m <sup>2</sup>   |               | mm <sup>2</sup>                        | Buah            |
| 1  | 4,786.671                                |          | 515,670.828   |               | 9,282.416                              | 66.30           |
| 2  | 4,640.106                                |          | 585,125.001   |               | 7,930.111                              | 56.64           |
| 3  | 4,378.126                                |          | 667,547.770   |               | 6,558.520                              | 46.85           |
| 4  | 3,650.503                                |          | 742,845.000   |               | 4,914.219                              | 35.10           |
| 5  | 1,336.177                                |          | 370,845.000   |               | 3,603.060                              | 25.74           |

#### 4.6.2. Gaya Tarik (*Stressing*) Kabel

Seperti yang sudah dijelaskan pada Bab VII dimana kabel akan digaya tarik terlebih dahulu untuk mengetahui gaya tarik awal. Dengan bantuan program bantu MIDAS CIVIL didapatkan gaya tarik dari proses iterasi yang dilakukan secara otomatis oleh program tersebut. Berikut ini adalah hasil dari gaya tarik pada tiap kabel dapat dilihat pada Tabel 4.34.

**Tabel 4.34** Gaya tarik awal (*stressing*) pada masing-masing kabel

| Kabel | Force (kN) |
|-------|------------|
| S1    | 256.83     |
| S2    | 1,028.23   |
| S3    | 987.17     |
| S4    | 494.43     |
| S5    | 147.49     |

Hasil yang didapat dari hasil iterasi pada tiap kabel yang diperoleh seperti pada Tabel 4.35 sebagai berikut ini :

Fu kabel = 1860 MPa

Fu ijin =  $0,45 \times 1860$  MPa

= 837 MPa

=  $0,837 \text{ kN/mm}^2$

**Tabel 4.35** Kebutuhan luas akibat *pretension*

| Kabel | $t_{ijin}$<br>(kN/mm <sup>2</sup> ) | Force<br>(kN) | $A_{pre}$<br>(mm <sup>2</sup> ) | $n_{pre}$ | $A_{perlu} = P/t_{ijin}$<br>(mm <sup>2</sup> ) | $n_{perlu} =$<br>$A/A_{s-kabel}$ | $N_{pakai}$ | $A_{pakai} =$<br>$n * A_s$ |
|-------|-------------------------------------|---------------|---------------------------------|-----------|--|----------------------------------|-------------|----------------------------|
| S1    | 0.837                               | 256.83        | 9,282.42                        | 66.30     | 306.84   | 2.19                             | 12          | 1680                       |
| S2    | 0.837                               | 1,028.23      | 7,930.11                        | 56.64     | 1228.47  | 8.77                             | 12          | 1680                       |
| S3    | 0.837                               | 987.17        | 6,558.52                        | 46.85     | 1179.42  | 8.42                             | 12          | 1680                       |
| S4    | 0.837                               | 494.43        | 4,914.22                        | 35.10     | 590.71   | 4.22                             | 12          | 1680                       |
| S5    | 0.837                               | 147.49        | 3,603.06                        | 25.74     | 176.22   | 1.26                             | 12          | 1680                       |

Kemudian diinputkan  $A_{pakai}$  ke program bantu MIDAS, akan diperoleh gaya maksimum dari semua kombinasi yang ada. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat sebagai berikut :

**Tabel 4.36** Gaya tarik masing-masing kabel

| Kabel | Force (kN) |
|-------|------------|
| S1    | 692.14     |
| S2    | 1,117.03   |
| S3    | 2,324.83   |
| S4    | 3,428.48   |
| S5    | 4,417.33   |

Dari gaya maksimum diatas didapat kebutuhan *strand* dan luas penampang yang sebenarnya. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Tabel 4.37.

**Tabel 4.37** Kebutuhan *strand* dan luas penampang sebenarnya

| Kabel | $t_{ijin}$<br>(kN/mm <sup>2</sup> ) | Force<br>(kN) | $A_{pre}$<br>(mm <sup>2</sup> ) | $n_{pre}$ | $A_{perlu} = P/t_{ijin}$<br>(mm <sup>2</sup> ) | $n_{perlu} =$<br>$A/A_{s-kabel}$ | $N_{pakai}$ | $A_{pakai} =$<br>$n * A_s$ |
|-------|-------------------------------------|---------------|---------------------------------|-----------|--|----------------------------------|-------------|----------------------------|
| S1    | 0.837                               | 692.14        | 1,680                           | 12        | 826.93   | 5.91                             | 12          | 1680                       |
| S2    | 0.837                               | 1,117.03      | 1,680                           | 12        | 1334.56  | 9.53                             | 12          | 1680                       |
| S3    | 0.837                               | 2,324.83      | 1,680                           | 12        | 2777.58  | 19.84                            | 31          | 4340                       |
| S4    | 0.837                               | 3,428.48      | 1,680                           | 12        | 4096.15  | 29.26                            | 43          | 6020                       |
| S5    | 0.837                               | 4,417.33      | 1,680                           | 12        | 5277.58  | 37.70                            | 43          | 6020                       |

#### 4.6.3. Analisa Penampang Kabel dengan $A_{pakai}$

Setelah didapatkan nilai luas penampang,  $A_{pakai}$ , dari perhitungan sebelumnya. Nilai  $A_{pakai}$  yang telah didapat dimasukkan dalam MIDAS CIVIL untuk memperoleh gaya kabel yang sebenarnya. Berikut hasil yang diperoleh dari analisa program MIDAS CIVIL dapat dilihat dari Tabel 4.38 sebagai berikut ini.

**Tabel 4.38** Hasil analisa gaya tarik dari  $A_{pakai}$ 

| Kabel | Force (kN) |
|-------|------------|
| S1    | 815.71     |
| S2    | 796.96     |
| S3    | 3,309.64   |
| S4    | 4,944.02   |
| S5    | 3,285.39   |

Dari tabel diatas, didapatkan nilai gaya tarik (*stressing*) kabel yang sebenarnya kemudian dicek kembali dengan  $A_{pakai}$  yang telah dihitung. Jika kabel dengan menggunakan desain  $A_{pakai}$  tersebut mampu menahan gaya kabel, maka  $A_{pakai}$  telah memenuhi gaya yang dibutuhkan. Berikut ini sebagai contoh perhitungan mencari gaya yang mampu diterima oleh kabel.

Kabel  $S_1$  :

$$A_{Spakai} = 1680 \text{ mm}$$

$$\begin{aligned} P_n &= f_{ijin} \cdot A_{Spakai} \\ &= 0,837 \text{ kN/mm}^2 \cdot 1680 \text{ mm}^2 \\ &= 1406 \text{ kN} \end{aligned}$$

$$P = 953,3 \text{ kN} \dots (P_n > P \dots \text{OK})$$

Untuk perhitungan kemampuan kabel yang dapat memikul gaya tarik dengan penampang yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 4.39 berikut ini.

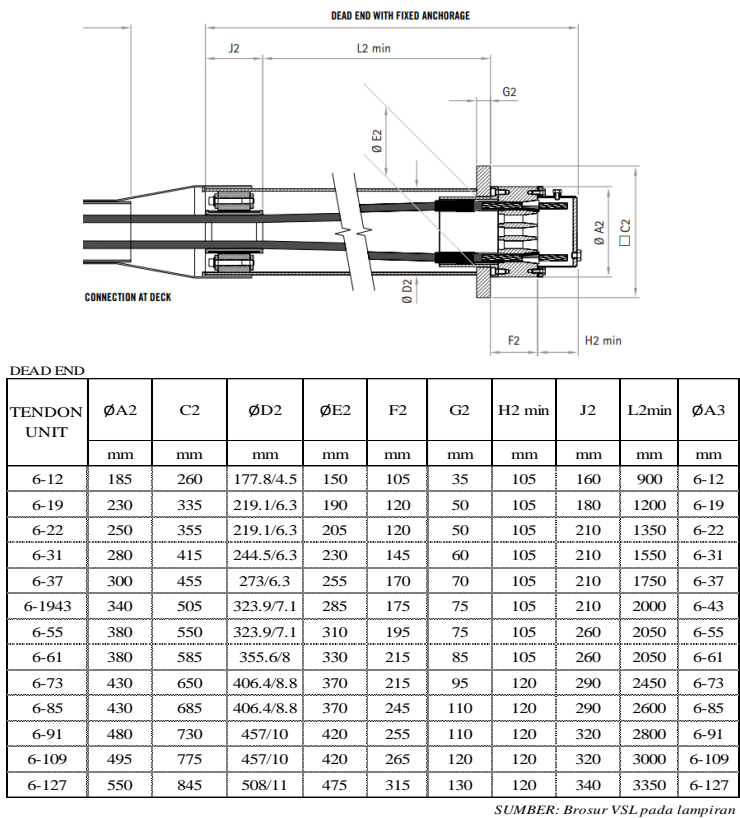
**Tabel 4.39** Kemampuan kabel dari  $A_{Spakai}$ 

| Kabel | $A_{Spakai}$ (mm <sup>2</sup> ) | $P_n$ (kN) | Force (kN) | Kontrol   |      |
|-------|---------------------------------|------------|------------|-----------|------|
| S1    | 1,680.00                        | 1,406.16   | 815.71     | $P_n > P$ | [OK] |
| S2    | 1,680.00                        | 1,406.16   | 796.96     | $P_n > P$ | [OK] |
| S3    | 4,340.00                        | 3,632.58   | 3,309.64   | $P_n > P$ | [OK] |
| S4    | 6,020.00                        | 5,038.74   | 4,944.02   | $P_n > P$ | [OK] |
| S5    | 6,020.00                        | 5,038.74   | 3,285.39   | $P_n > P$ | [OK] |

Dari hasil di atas dapat disimpulkan bahwa luas penampang dan jumlah *strand* yang dibutuhkan mampu menahan gaya tarik yang terjadi.

4.6.4. Analisa Anker pada gelagar

Desain anker dipasang sesuai dengan jumlah kebutuhan *strand* yang direncanakan. Pada perhitungan anker terdapat kontrol yang perlu diperhitungkan antara lain adalah cek kontrol tegangan plat baja akibat gaya tarik dari kabel. Berikut ini spesifikasi jumlah strand dan dimensi anker pada Gambar 4.89.



Gambar 4.89 Spesifikasi teknis dan karakteristik anker

Berikut ini contoh perhitungan anker yang digunakan pada S<sub>4</sub> dengan gaya yang paling besar sebagai berikut.

Data perencanaan :

**Tabel 4.40** Data anker yang dipakai

| Anker | Strand |     |     |
|-------|--------|-----|-----|
|       | 12     | 31  | 43  |
| ØA2   | 185    | 280 | 340 |
| C2    | 260    | 415 | 505 |

Perhitungan untuk kabel S<sub>4</sub> dengan strand 43

$$P = 4944,02 \text{ kN}$$

$$\text{ØA1} = 340 \text{ mm}$$

$$C1 = 505 \text{ mm}$$

$$A_{p'} = C1^2$$

$$= 255025 \text{ mm}^2$$

$$A_p = A_{p'} - 0,25 \cdot \pi \cdot (\text{ØA1})^2$$

$$= 255025 - 0,25 \cdot \pi \cdot (340)^2$$

$$= 164232,97 \text{ mm}^2$$

Tegangan ijin pelat baja pada saat pemberian gaya tarik :

Pelat baja BJ41

$$f_y = 250 \text{ MPa}$$

$$f_u = 410 \text{ MPa}$$

$$f_{yp} = 0,8 \cdot f_y \cdot \sqrt{\frac{A_{p'}}{A_p} - 0,2}$$

$$= 0,8 \cdot 250 \cdot \sqrt{\frac{255025}{164232,97} - 0,2}$$

$$= 232,622 \text{ MPa}$$

Tegangan di bawah pelat anker :

$$f_t = \frac{P}{A_p}$$



$$= \frac{4944,02 \cdot 1000}{164232,97} = 30,1 \text{ MPa}$$

$f_t$   
30,1 kN

<

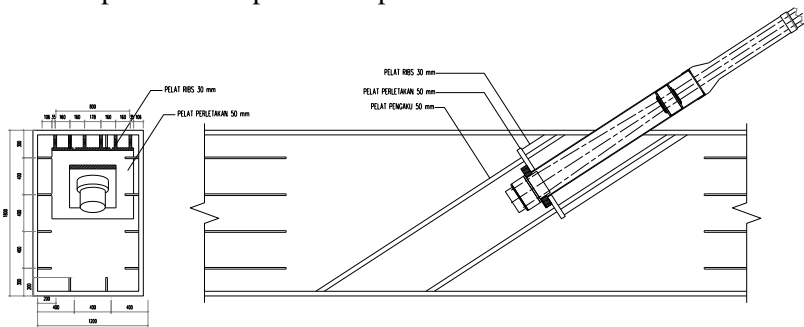
$f_{yp}$   
232,622 kN... (OK)

Untuk perhitungan kontrol tagangan anker yang lain dapat dilihat pada Tabel 4.41 berikut ini.

Tabel 4.41 Perhitungan angker keseluruhan

| Kabel | Anker | Force (kN) | Ap' (mm <sup>2</sup> ) | Ap (mm <sup>2</sup> ) | fyp MPa     | ft MPa | Kontrol |      |
|-------|-------|------------|------------------------|-----------------------|-------------|--------|---------|------|
| S1    | 12    | 815.71     | 67,600                 | 40,719.75             | 241.6715257 | 20.03  | fyp>ft  | [OK] |
| S2    | 12    | 796.96     | 67,600                 | 40,719.75             | 241.6715257 | 19.57  | fyp>ft  | [OK] |
| S3    | 31    | 3,309.64   | 172,225                | 110,649.78            | 232.9366823 | 29.91  | fyp>ft  | [OK] |
| S4    | 43    | 4,944.02   | 255,025                | 164,232.97            | 232.6219768 | 30.10  | fyp>ft  | [OK] |
| S5    | 43    | 3,285.39   | 255,025                | 164,232.97            | 232.6219768 | 20.00  | fyp>ft  | [OK] |

Untuk kontrol anker yang menerima gaya tarik (*stressing*) berikut ilustrasi plat anker dapat dilihat pada Gambar 4.90.



Gambar 4.90 Pelat anker dan dimensi

1. Untuk 43 strand, di kontrol S<sub>4</sub> sebagai gaya yang terbesar mewakili anker lain
- a. Kuat lentur pelat sayap  
SNI03- 1729-2002, ps. 8.10.2

$$\begin{aligned}
 \phi R_b &= \phi \cdot 6,25 \cdot t_f^2 \cdot f_y \\
 &= 0,85 \cdot 6,25 \cdot (50\text{mm})^2 \cdot 250\text{N/mm}^2 \\
 &= 3320312,5 \text{ N} \\
 &= 3320,3 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

- b. Kuat leleh pelat badan

SNI03-1729-2002, ps. 8.10.3

$$\phi R_b = \phi \cdot (5k + N) \cdot t_w \cdot f_y$$

dimana :

$k$  = tebal pelat sayap ditambah jari-jari peralihan

$N$  = dimensi arah longitudinal pelat perletakan atau tumpuan, minimal sebesar  $k$ .

$$\begin{aligned}
 \phi R_b &= 0,85 \cdot (5 \cdot 50 + 505)\text{mm} \cdot 50\text{mm} \cdot 250 \text{ N/mm}^2 \\
 &= 8021875 \text{ N} \\
 &= 8021,875 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

- c. Kuat tekuk dukung pelat badan

SNI03-1729-2002, ps. 8.10.4 (8.10-4.c)

$$\begin{aligned}
 \phi R_b &= 0,39 \cdot t_w^2 \left[ 1 + \left\{ 4 \left( \frac{N}{d} \right) - 0,2 \right\} \left( \frac{t_w}{t_f} \right)^{1,5} \right] \sqrt{\frac{E \cdot f_y \cdot t_f}{t_w}} \\
 &= 0,85 \cdot 0,39 \cdot 50^2 \left[ 1 + \left\{ 4 \left( \frac{505}{1800} \right) - 0,2 \right\} \left( \frac{50}{50} \right)^{1,5} \right] \sqrt{\frac{2 \cdot 10^5 \cdot 250 \cdot 50}{50}} \\
 &= 39504288 \text{ N} \\
 &= 3950,29 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

- d. Kuat tekuk lentur pelat badan

SNI03- 1729-2002, ps. 8.10.6

$$\begin{aligned}
 \phi R_b &= \frac{12,08 t_w^3}{h} \sqrt{E f_y} \\
 &= 0,85 \cdot \frac{12,08 \cdot 50^3}{1800} \sqrt{2 \cdot 10^5 \cdot 250}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 5931840,22 \text{ N} \\
 &= 5931,84 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan di atas dipakai nilai  $\phi R_b$  yang terkecil sebesar 3320,313 kN.

Pada setiap satu anker ditumpu oleh 2 plat sehingga gaya yang diterima pada satu anker adalah

$$\begin{aligned}
 P &= 0,5 \cdot 4944,02 \text{ kN} \\
 &= 2472,01 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

$$\begin{array}{ll}
 P & < \phi R_b \\
 2472,01 \text{ kN} & < 3320,313 \text{ kN}
 \end{array}$$

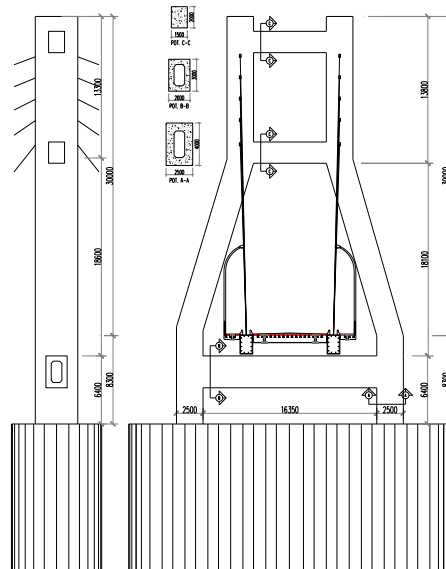
Dari perhitungan diatas maka didapat bahwa  $P < \phi R_b$ , maka pelat mampu menahan beban yang terjadi.

#### 4.7. Struktur Pylon

Desain jembatan *cable stayed* untuk struktur *pylon* (menara) adalah bagian yang menerus dari bangunan bawah hingga ke atas. Beban yang didapatkan *pylon* berasal dari beban lantai kendaraan baik beban mati maupun hidup yang disalurkan melalui kabel menuju ke *pylon* dan akan meneruskan beban ke pondasi.

##### 4.7.1. Gaya Dalam pada Pylon

Untuk menganalisa penampang pylon perlu di kontrol terhdap kelangsingan kolom. Kelangsingan tersebut akan mengakibatkan tekuk sebelum mencapai keadaan limit kegagalan material dimana sebelum terjadinya regangan pada beton pada luas area kolom yang tertekan mencapai 0,003. Untuk dimensi pylon sendiri diganti dari preliminary desain. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 4.91 sebagai berikut.



**Gambar 4.91** Struktur *pylon* (dalam cm)

Perhitungan kebutuhan tulangan pada pylon akan dibagi menjadi beberapa bagian antara lain  $A_1$ ,  $A_2$  dan  $A_3$  seperti pada Tabel 4.42. Gaya dalam yang akan diambil untuk perhitungan terdiri dari beban akibat gempa, beban akibat statik dan beban akibat pelaksanaan.

**Tabel 4.42** Gaya dalam pada *pylon section A-A*

**Beban statik**

| Elem | Load    | Part   | Axial (kN) | Shear-y (kN) | Shear-z (kN) | Torsion (kN·m) | Moment-y (kN·m) | Moment-z (kN·m) |
|------|---------|--------|------------|--------------|--------------|----------------|-----------------|-----------------|
| 362  | Kasus 3 | I[204] | -25501.9   | 308.66       | 98.69        | -995.02        | 2486.26         | 6356.37         |
| 368  | Kasus 1 | I[218] | -2130.91   | 1909.87      | 462.89       | 94.89          | 2001.75         | 6386.24         |
| 363  | Kasus 3 | J[206] | -22975.8   | 254.89       | 2473.84      | -1452.05       | -5406.04        | 4158.43         |
| 363  | Kasus 2 | I[202] | -18569.4   | -555.12      | 2208.15      | -3117.77       | 5297.85         | -15968.15       |
| 376  | Kasus 4 | I[205] | -17343.1   | 0            | -1260.16     | 0              | -9283.3         | 0               |
| 375  | Kasus 2 | I[203] | -22508.6   | -1118.65     | 68.19        | 296.77         | 817.99          | -32013.63       |

**Beban gempa**

| Elem | Load     | Part   | Axial (kN) | Shear-y (kN) | Shear-z (kN) | Torsion (kN·m) | Moment-y (kN·m) | Moment-z (kN·m) |
|------|----------|--------|------------|--------------|--------------|----------------|-----------------|-----------------|
| 362  | Kasus 16 | I[204] | -18480.7   | 2038.14      | 457.6        | 2928.66        | 5264.91         | 58110.29        |
| 376  | Kasus 15 | J[201] | -16351.8   | 2143.43      | -1321        | 4002.2         | 4713.05         | 41058.58        |
| 363  | Kasus 19 | I[202] | -15820.6   | 632.71       | 2901.78      | 946.66         | 14272.04        | 14431.96        |
| 363  | Kasus 18 | I[202] | -15047.9   | 497.71       | 2861.22      | 669.04         | 14807.71        | 10952.21        |
| 362  | Kasus 14 | I[204] | -17883.9   | 1986.69      | 458.56       | 3118.3         | 5179.25         | 58683.44        |

**Staging analysis**

| Potongan Pylon | Elem | Load      | Stage | Axial (kN) | Shear-y (kN) | Shear-z (kN) | Torsion (kN·m) | Moment-y (kN·m) | Moment-z (kN·m) |
|----------------|------|-----------|-------|------------|--------------|--------------|----------------|-----------------|-----------------|
| A-A            | 153  | Summation | CS 0  | -11052.1   | -155.28      | 0            | 0              | 0               | -770.79         |
|                | 154  | Summation | CS 0  | -9283.14   | -903.62      | 0            | 0              | 0               | 1051.53         |
|                | 162  | Summation | CS 11 | -2746.32   | 76.18        | 4.06         | 0.42           | 11.51           | 405.17          |
|                | 152  | Summation | CS 11 | -5876.87   | 572.56       | -4.06        | -8.04          | 76.07           | 828.88          |
|                | 153  | Summation | CS 11 | -8171.88   | -164.81      | 4.06         | 6.23           | 112.04          | -354.92         |
|                | 152  | Summation | CS 1  | -8752.9    | 902.86       | 0            | 0              | 0               | 1617.1          |

**Tabel 4.43** Gaya dalam pada *pylon section B-B*

**Beban statik**

| Elem | Load    | Part   | Axial (kN) | Shear-y (kN) | Shear-z (kN) | Torsion (kN·m) | Moment-y (kN·m) | Moment-z (kN·m) |
|------|---------|--------|------------|--------------|--------------|----------------|-----------------|-----------------|
| 155  | Kasus 3 | J[202] | 2435.75    | 73.31        | 899.44       | 353.11         | -3776.41        | -623.11         |
| 155  | Kasus 4 | J[202] | 1558.85    | 0            | 1342.81      | 0              | -6923.02        | 0               |
| 155  | Kasus 2 | J[202] | 1997.3     | 73.31        | 1126.4       | 353.1          | -5394.59        | -1029.36        |

### Beban gempa

| Elem | Load     | Part   | Axial (kN) | Shear-y (kN) | Shear-z (kN) | Torsion (kN-m) | Moment-y (kN-m) | Moment-z (kN-m) |
|------|----------|--------|------------|--------------|--------------|----------------|-----------------|-----------------|
| 155  | Kasus 12 | I[201] | 1726.28    | 52.94        | -815.2       | 255.03         | -3065.97        | 450.03          |
| 155  | Kasus 15 | J[202] | 1648.14    | 12.31        | 1238.73      | 59.52          | -930.15         | 814.68          |
| 155  | Kasus 18 | J[202] | 1648.21    | 12.25        | 1948.64      | 59.05          | 5104.1          | 124.31          |
| 155  | Kasus 18 | J[202] | 1648.21    | 12.25        | 1948.64      | 59.05          | 5104.1          | 124.31          |
| 155  | Kasus 18 | I[201] | 1648.21    | 12.25        | 152.94       | 59.05          | 5726.79         | 332.22          |
| 155  | Kasus 16 | I[201] | 1715.84    | 12.31        | -592.62      | 59.52          | -658.46         | 1090.79         |

### Staging analysis

| Potongan Pylon | Elem | Load      | Stage | Axial (kN) | Shear-y (kN) | Shear-z (kN) | Torsion (kN-m) | Moment-y (kN-m) | Moment-z (kN-m) |
|----------------|------|-----------|-------|------------|--------------|--------------|----------------|-----------------|-----------------|
| B-B            | 155  | Summation | CS 0  | 748.34     | 0            | 716.39       | 0              | -2132.33        | 0               |

**Tabel 4.44** Gaya dalam pada *pylon section C-C*

### Beban statik

| Elem | Load    | Part   | Axial (kN) | Shear-y (kN) | Shear-z (kN) | Torsion (kN-m) | Moment-y (kN-m) | Moment-z (kN-m) |
|------|---------|--------|------------|--------------|--------------|----------------|-----------------|-----------------|
| 156  | Kasus 3 | J[208] | -3753.57   | -85.68       | 491.09       | 426.43         | -840.91         | 539.76          |
| 315  | Kasus 2 | I[210] | -478.94    | -258.97      | -673.64      | 360.1          | -2351.75        | -1545.46        |
| 156  | Kasus 4 | J[208] | -2284.47   | 0            | 1110.8       | 0              | -4838.78        | 0               |
| 315  | Kasus 2 | J[209] | -478.94    | -258.97      | 304.98       | 360.1          | -29.19          | 1717.52         |

### Beban gempa

| Elem | Load     | Part   | Axial (kN) | Shear-y (kN) | Shear-z (kN) | Torsion (kN-m) | Moment-y (kN-m) | Moment-z (kN-m) |
|------|----------|--------|------------|--------------|--------------|----------------|-----------------|-----------------|
| 156  | Kasus 16 | J[208] | -2527.68   | -14.04       | 865.61       | 71.64          | 1451.27         | 521.15          |
| 315  | Kasus 19 | J[209] | -412.09    | -43.06       | 1351.02      | 60.12          | 4294.52         | 396.43          |
| 156  | Kasus 18 | J[208] | -2414.09   | -14.21       | 1793.08      | 71.24          | 6632            | 201.32          |
| 156  | Kasus 18 | I[207] | -2414.09   | -14.21       | 814.45       | 71.24          | 7300.87         | 21.15           |
| 315  | Kasus 15 | J[209] | -393.46    | -42.82       | 718.58       | 60.34          | 684.51          | 701.29          |

### Staging analysis

| Potongan Pylon | Elem | Load      | Stage | Axial (kN) | Shear-y (kN) | Shear-z (kN) | Torsion (kN-m) | Moment-y (kN-m) | Moment-z (kN-m) |
|----------------|------|-----------|-------|------------|--------------|--------------|----------------|-----------------|-----------------|
| C-C            | 156  | Summation | CS 0  | -1006.41   | 0            | -266.74      | 0              | -533.11         | 0               |
|                | 156  | Summation | CS 0  | -1006.41   | 0            | 267.06       | 0              | -535.09         | 0               |
|                | 315  | Summation | CS 0  | -224.65    | 0            | -267.03      | 0              | -579.38         | 0               |
|                | 156  | Summation | CS 11 | -496.38    | 0            | -266.93      | 0              | -558.7          | 0.47            |

## 4.7.2. Analisa Penampang Pylon Section A-A

Dari gaya dalam yang didapatkan dengan nilai maksimum dari semua kombinasi yang telah direncanakan maka dapat

dilakukan perhitungan pada penampang *pylon*. Berikut ini perhitungan penampang *pylon* pada *section A-A*.

#### 4.7.2.1. Perhitungan Tulangan Lentur *section A-A*

Gaya dalam yang digunakan dengan nilai maksimum

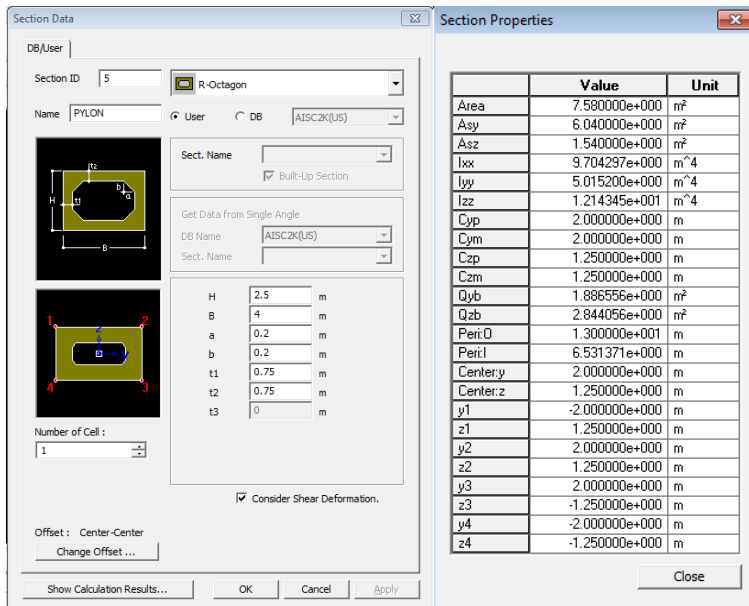
|          |               |           |                |
|----------|---------------|-----------|----------------|
| $P_u$    | = 25501,86 kN | $M_{Yns}$ | = 9283,30 kNm  |
| $V_{uy}$ | = 2143,43 kN  | $M_{Zns}$ | = 32013,63 kNm |
| $V_{uz}$ | = 2901,78 kN  | $M_{Ys}$  | = 14807,71 kNm |
| $M_t$    | = 4002,20 kNm | $M_{Zs}$  | = 58683,44 kNm |

Berikut ini data perencanaan yang berupa section properties dari *pylon* yang didapatkan dari program bantu MIDAS CIVIL dapat dilihat pada Gambar 4.91.

|                          |  |
|--------------------------|--|
| Mutu Beton ( $f'_c$ )    | = 50 MPa   |
| Mutu Tulangan ( $f_y$ )  | = 400 MPa  |
| Luas Penampang ( $A_g$ ) | = 7,58 m <sup>2</sup><br>= 75800 cm <sup>2</sup> |
| Inersia arah y ( $I_y$ ) | = 501520000 cm <sup>4</sup>                      |
| Inersia arah z ( $I_z$ ) | = 1214345000 cm <sup>4</sup>                     |
| Modulus Elastisitas      | = 33234,02 MPa                                   |

Tulangan yang digunakan adalah :

|                           |         |
|---------------------------|---------|
| Tulangan utama (lentur)   | = 36 mm |
| Tulangan sengkang (geser) | = 22 mm |
| Tulangan puntir (torsi)   | = 36 mm |
| Tebal selimut beton       | = 50 mm |



**Gambar 4.92** Section properties penampang pylon section A-A

### Perhitungan Tulangan Longitudinal

Untuk perhitungan struktur *pylon* harus diperhitungkan perbesaran momen terhadap sumbu y dan sumbu z.

#### *Perbesaran momen terhadap sumbu y*

Pada sumbu y diperhuitungkan menggunakan rumus rangka bergoyang. Terlebih dahulu akan dicek pada komponen struktur tekan termasuk kolom bergoyang atau tidak. Lalu pengaruh kelangsingan komponen pada struktur tekan boleh diabaikan pada struktur bergoyang apabila memenuhi berikut ini :

$$Q_y = \frac{\sum P_u \cdot \Delta_{ox}}{V_{uz} \cdot I_x} < 0,05 \dots (\text{SNI 2847-2013 pasal 10.10.5.2})$$



Dimana:

$P_u$  = gaya tekan terfaktor (kN)

$\Delta_o$  = simpangan relative

$$= 0,06\text{m}$$

$$Q = \frac{25501,86 \cdot 0,06}{2143,43 \cdot 12,14}$$

$$= 0,063 > 0,05 \quad (\text{kolom bergoyang})$$

Dari hasil perhitungan tersebut maka dikategorikan kolom bergoyong dimana dicek akan pengaruh kelangsingan pada komponen struktur tekan.

$$\frac{k \cdot l_u}{r} < 22 \dots (\text{SNI 2847-2013 pasal 10.10.1.a})$$

Dimana :

$k$  = faktor panjang efektif komponen struktur tekan (2,0)

$l_u$  = panjang bebas komponen tekan (38,5m)

$r$  = jari-jari girasi penampang (m)

$$\begin{aligned} r &= \sqrt{\frac{I_x}{A}} \\ &= \sqrt{\frac{502000000}{75800}} \\ &= 81\text{cm} \\ &= 0,81 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\frac{k \cdot l_u}{r} = \frac{2,0 \cdot 38,5}{0,81}$$

$$= 94,66 > 22 \quad (\text{kolom langsing})$$

Maka pembesaran momen yang pada penampang pylon tidak dapat diabaikan. Untuk menghitung pembesaran momen yang terjadi berdasarkan kolom bergoyang sebagai berikut

$$\begin{aligned}
\delta_s &= \frac{1}{1-Q} \geq 1 \dots (\text{SNI 2847-2013 pasal 10.10.7.3}) \\
&= \frac{1}{1-0,063} \geq 1 \\
&= 1,07 \geq 1 \\
\delta_s &= \frac{1}{1-Q} \leq 1,5 \dots (\text{SNI 2847-2013 pasal 10.10.7.3}) \\
&= 1,07 < 1,5 \dots (\text{OK}) \\
\delta_s \cdot M_{Ys} &= 1,07 \cdot 14622,63 \text{ kNm} \\
&= 15798,34 \text{ kNm} \\
M_Y &= M_{Yns} + \delta_s \cdot M_{Ys} \dots (\text{SNI 2847-2013 pasal 10.10.7}) \\
&= 9283,2 \text{ kNm} + 15798,34 \text{ kNm} \\
&= 25081,64 \text{ kNm}
\end{aligned}$$

*Perbesaran momen terhadap sumbu z*

Pada sumbu z diperhuitungkan menggunakan rumus rangka tak bergoyang. Pengaruh kelangsingan komponen pada struktur tekan boleh diabaikan pada struktur bergoyang apabila memenuhi berikut ini :

$$\frac{k \cdot lu}{r} < 34 - \left( 12 \cdot \frac{M_1}{M_2} \right) < 40 \dots (\text{SNI 2847-2013 pasal 10.10.1.b})$$

Dimana :

k = faktor panjang efektif komponen struktur tekan (1,0)

lu = panjang bebas komponen tekan (38,5m)

r = jari-jari girasi penampang (m)

$$\begin{aligned}
r &= \sqrt{\frac{I_x}{A}} \\
&= \sqrt{\frac{1214000000}{75800}} \\
&= 127 \text{ cm} = 1,27 \text{ m}
\end{aligned}$$

$$\frac{k \cdot l_u}{r} < 34 - \left( 12 \cdot \frac{M_1}{M_2} \right) < 40$$

$$\frac{1,0 \cdot 38,5}{1,27} < 34 - \left( \frac{14622,63}{32013,63} \right) < 40$$

$$= 30,42 > 28,52 \quad (\text{kolom langsing})$$

$$\begin{aligned} \beta_{dns} &= \frac{\text{Aksial}_{DL}}{\text{Aksial}_{\text{kombinasi terbesar}}} \dots (\text{SNI 2847-2013 pasal 10.10.6.2}) \\ &= \frac{18197,81 \text{ kN}}{25501,85 \text{ kN}} \\ &= 0,71 \end{aligned}$$

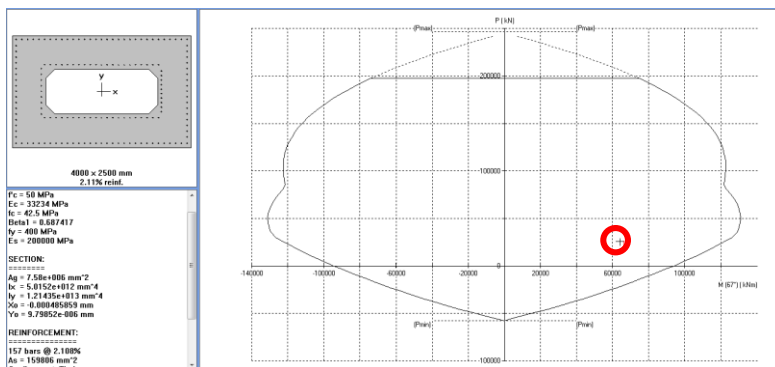
$$\begin{aligned} EI &= \frac{0,4 \cdot E_c \cdot I_z}{1 + \beta_{dns}} \dots (\text{SNI 2847-2013 pasal 10.10.6.1}) \\ &= \frac{0,4 \cdot 33234,02 \text{ MPa} \cdot 12,14 \cdot 10^{12} \text{ mm}^4}{1 + 0,71} \\ &= 9,42 \cdot 10^{17} \text{ Nmm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_c &= \frac{\pi^2 \cdot EI}{(k \cdot l_u)^2} \dots (\text{SNI 2847-2013 pasal 10.10.6}) \\ &= \frac{\pi^2 \cdot 9,42 \cdot 10^{17} \text{ Nmm}^2}{(1 \cdot 38,5 \cdot 10^3)^2} \\ &= 6,27 \cdot 10^9 \text{ N} \end{aligned}$$

$$C_m = 1 \dots (\text{SNI 2847-2013 pasal 10.10.6.4})$$

$$\begin{aligned}
 \delta_{ns} &= \frac{C_m}{1 - \frac{P_u}{0,75 \cdot P_c}} \geq 1 \dots (\text{SNI 2847-2013 pasal 10.10.7.3}) \\
 &= \frac{1}{1 - \frac{25501,86 \cdot 10^3 \text{ N}}{0,75 \cdot 6,27 \cdot 10^9 \text{ N}}} \geq 1 \\
 &= 1,01 \geq 1 \\
 \delta_{ns} \cdot M_{zs} &= 1,06 \cdot 58683,44 \text{ kNm} \dots (\text{SNI 2847-2013 pasal 10.10.6}) \\
 &= 59003,28 \text{ kNm}
 \end{aligned}$$

Perencanaan untuk tulangan longitudinal menggunakan tulangan D36 dan untuk tulangan transversal menggunakan tulangan D22 dimana mutu tulangan menggunakan  $f_y$  400 MPa. Untuk kebutuhan tulangan longitudinal direncanakan dan dianalisa menggunakan program bantu spColumn. Lebih lanjutnya dapat dilihat pada Gambar 4.93 sebagai berikut ini.



**Gambar 4.93** Gambar grafik diagram interaksi *SpColumn*

Dari hasil analisa didapat :

157 buah D36 (2,11%)

$A_s = 159806 \text{ mm}^2$

Kontrol jarak antar tulangan

$$\begin{aligned}
 S_y &= \frac{b_w - 2 \cdot h_{\text{selimut}} - 2 \cdot \text{tul.sengkan} - n_{\text{tul.utama}}}{n - 1} \\
 &= \frac{4000 - 2 \cdot 50 - 2 \cdot 22 - 31 \cdot 36}{31 - 1} \\
 &= 91,33 \text{ mm} \dots (\text{OK}) > 40 \text{ mm} \dots (\text{SNI 2847-2013 ps 7.6.3})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S_z &= \frac{b_w - 2 \cdot h_{\text{selimut}} - 2 \cdot \text{tul.sengkan} - n_{\text{tul.utama}}}{n - 1} \\
 &= \frac{2500 - 2 \cdot 50 - 2 \cdot 22 - 19 \cdot 36}{19 - 1} \\
 &= 92,89 \text{ mm} \dots (\text{OK}) > 40 \text{ mm} \dots (\text{SNI 2847-2013 ps 7.6.3})
 \end{aligned}$$

Jarak antar tulangan memenuhi, sehingga penampang *pylon section* A-A dan tulangan desain dapat digunakan.

**4.7.2.2. Perhitungan Tulangan Geser section A-A**

Gaya dalam yang terjadi pada *pylon* :

$$P_u = 25501,86 \text{ kN}$$

$$V_{uy} = 2143,43 \text{ kN}$$

$$V_{uz} = 2901,78 \text{ kN}$$

Menghitung tinggi efektif

$$\begin{aligned}
 d_y &= h - h_{\text{selimut}} - D_{\text{tul. sengan}} - \frac{1}{2} D_{\text{tul.utama}} \\
 &= 2500 - 50 - 22 - \frac{1}{2} \cdot 36 \\
 &= 2410 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 d_z &= h - h_{\text{selimut}} - D_{\text{tul. sengan}} - \frac{1}{2} D_{\text{tul.utama}} \\
 &= 4000 - 50 - 22 - \frac{1}{2} \cdot 36 \\
 &= 3910 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

*Penulangan geser sumbu y pada pylon*

$$\begin{aligned}
 V_c &= 0,17 \cdot \left( 1 + \frac{N_u}{14A_g} \right) \cdot \lambda \cdot \sqrt{f_c} \cdot b_w \cdot d \\
 &\quad \dots (\text{SNI 2847-2013 pasal 11.2.1.2}) \\
 &= 0,17 \cdot \left( 1 + \frac{25501,86 \cdot 10^3 \text{ N}}{14 \cdot 7,58 \cdot 10^6 \text{ mm}} \right) \cdot 1 \cdot \sqrt{50} \text{ MPa} \cdot 4 \cdot 10^3 \text{ mm} \cdot 2410 \text{ mm} \\
 &= 14372811,83 \text{ N} \\
 \phi V_c &= 0,85 \cdot 14372811,83 \text{ N} \\
 &= 12216890,06 \text{ N} \\
 0,5\phi V_c &= 0,5 \cdot 12216890,06 \text{ N} \dots (\text{SNI 2847-2013 pasal 11.4.6.1}) \\
 &= 6108445,03 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Nilai  $0,5\phi V_c > V_u = 2143430 \text{ N}$ , maka tidak perlu tulangan geser

Menggunakan geser minimum

$$V_u \leq \phi V_n \dots (\text{SNI 2847-2013 pasal 11.1.1})$$

$$V_n = V_c + V_s$$

$$V_u < \phi (V_c + V_s)$$

$$A_{v_{\min}} = 0,35 b_w \cdot \frac{s}{f_{yt}} \dots (\text{SNI 2847-2013 pasal 11.4.6.3})$$

$$V_s = \frac{A_v \cdot f_{yt} \cdot d_y}{s} \dots (\text{SNI 2847-2013 pasal 11.4.7.2})$$

$$V_s = \frac{\left( 0,35 \cdot b_w \cdot \frac{s}{f_{yt}} \right) \cdot f_{yt} \cdot d_y}{s}$$

$$\begin{aligned}
 V_s &= 0,35 \cdot b_w \cdot d_y \\
 &= 0,35 \cdot 4 \cdot 10^3 \cdot 2410 \\
 &= 3374000 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_s &= 0,33 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d_y \cdot \text{.(SNI 2847-2013 pasal 11.4.5.2)} \\
 &= 0,33 \cdot \sqrt{50} \cdot 4 \cdot 10^3 \cdot 2410 \\
 &= 22494480,92 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_s = 0,35 \cdot b_w \cdot d_y &< V_s = 0,33 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d_y \\
 3374000 \text{ N} &< 22494480,92 \text{ N ... (OK)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_u &< \phi (V_c + V_s) \\
 V_u/\phi &< (V_c + V_s) \\
 2143430/0,85 &< (14372811,83 + 3374000) \\
 2521682,35 \text{ N} &< 17746811,83 \text{ N ... (OK)}
 \end{aligned}$$

Maka dipakai 2D22

$$\begin{aligned}
 V_s &= \frac{A_v \cdot f_{yt} \cdot d_y}{s} \\
 s &= \frac{A_v \cdot f_{yt} \cdot d_y}{V_s} \\
 &= \frac{(2 \cdot 0,25 \cdot \pi \cdot 22^2) \cdot 400 \cdot 2410}{3374000} \\
 &= 217,22 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 21.3.5.2 spasi antar tulangan geser tidak boleh kurang dari :

$$\begin{aligned}
 \frac{1}{2} \text{ penampang terkecil kolom} &= \frac{1}{2} \cdot 2500 &= 1250 \text{ mm} \\
 8 D_{\text{tul. longitudinal}} &= 8 \cdot 36 &= 288 \text{ mm} \\
 24 D_{\text{tul. transversal}} &= 24 \cdot 22 &= 528 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Atau 300

Maka jarak sengkang yang digunakan adalah 2D22-200

*Penulangan geser sumbu z pada pylon*

$$V_c = 0,17 \cdot \left( 1 + \frac{N_u}{14A_g} \right) \cdot \lambda \cdot \sqrt{f_c} \cdot b_w \cdot d$$

..(SNI 2847-2013 pasal 11.2.1.2)

$$= 0,17 \cdot \left( 1 + \frac{25501,86 \cdot 10^3 \text{ N}}{14,7,58 \cdot 10^6 \text{ mm}} \right) \cdot 1 \cdot \sqrt{50 \text{ MPa}} \cdot 2,5 \cdot 10^3 \text{ mm} \cdot 3910 \text{ mm}$$

$$= 14574090,83 \text{ N}$$

$$\phi V_c = 0,85 \cdot 14574090,83 \text{ N}$$

$$= 12387977,21 \text{ N}$$

$$0,5\phi V_c = 0,5 \cdot 12387977,21 \text{ N} \cdot \text{..(SNI 2847-2013 pasal 11.4.6.1)}$$

$$= 6193988,6 \text{ N}$$

Nilai  $0,5\phi V_c > V_u = 2901780 \text{ N}$ , maka tidak perlu tulangan geser

Menggunakan geser minimum

$$V_u \leq \phi V_n \dots \text{(SNI 2847-2013 pasal 11.1.1)}$$

$$V_n = V_c + V_s$$

$$V_u < \phi (V_c + V_s)$$

$$A_{v_{\min}} = 0,35 b_w \cdot \frac{s}{f_{yt}} \dots \text{(SNI 2847-2013 pasal 11.4.6.3)}$$

$$V_s = \frac{A_v \cdot f_{yt} \cdot d_y}{s} \dots \text{(SNI 2847-2013 pasal 11.4.7.2)}$$

$$V_s = \frac{\left( 0,35 \cdot b_w \cdot \frac{s}{f_{yt}} \right) \cdot f_{yt} \cdot d_y}{s}$$

$$\begin{aligned} V_s &= 0,35 \cdot b_w \cdot d_y \\ &= 0,35 \cdot 2,5 \cdot 10^3 \cdot 3910 \\ &= 3421250 \text{ N} \end{aligned}$$



$$\begin{aligned}
 V_s &= 0,33 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d_y \cdot \text{.(SNI 2847-2013 pasal 11.4.5.2)} \\
 &= 0,33 \sqrt{50} \cdot 2,5 \cdot 10^3 \cdot 3910 \\
 &= 22809496,99 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_s = 0,35 \cdot b_w \cdot d_y &< V_s = 0,33 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d_y \\
 3421250 \text{ N} &< 22809496,99 \text{ N ... (OK)}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_u &< \phi (V_c + V_s) \\
 V_u/\phi &< (V_c + V_s) \\
 2901780/0,85 &< (14574090,83 + 3421250) \\
 3413858,82 \text{ N} &< 17995340,83 \text{ N ... (OK)}
 \end{aligned}$$

Maka dipakai 2D22

$$\begin{aligned}
 V_s &= \frac{A_v \cdot f_{yt} \cdot d_y}{s} \\
 s &= \frac{A_v \cdot f_{yt} \cdot d_y}{V_s} \\
 &= \frac{(2 \cdot 0,25 \cdot \pi \cdot 22^2) \cdot 400 \cdot 3910}{3421250} \\
 &= 347,55 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 21.3.5.2 spasi antar tulangan geser tidak boleh kurang dari :

$$\begin{aligned}
 \frac{1}{2} \text{ penampang terkecil kolom} &= \frac{1}{2} \cdot 2500 &= 1250 \text{ mm} \\
 8 D_{\text{tul. longitudinal}} &= 8 \cdot 36 &= 288 \text{ mm} \\
 24 D_{\text{tul. transversal}} &= 24 \cdot 22 &= 528 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Atau 300

Maka jarak sengkang yang digunakan adalah 2D22-200

#### 4.7.2.3. Perhitungan Tulangan Puntir section A-A

Gaya dalam yang terjadi pada *pylon* :

$$P_u = 25501,86 \text{ kN}$$

$$M_t = 4002,2 \text{ kNm}$$

Kontrol terhadap puntir dapat diabaikan apabila kurang dari yang ditentukan oleh SNI 2847-2013 pasal 11.5.1.(a) untuk penampang berongga dimana  $A_g$  digunakan pengganti sebagai  $A_{cp}$

$$A_{cp} = 75800000 \text{ mm}^2$$

$$P_{cp} = 2(2500 + 4000)\text{mm} = 13000 \text{ mm}$$

$$x_1 = 4000\text{mm} - 2(50 + 0,5 \cdot 22)\text{mm} = 3878 \text{ mm}$$

$$x_2 = 2500\text{mm} - 2(50 + 0,5 \cdot 22)\text{mm} = 2378 \text{ mm}$$

$$A_{oh} = (3878 \cdot 2378)\text{mm}^2 = 9221884 \text{ mm}^2$$

$$P_h = 2 \cdot (3878 + 2378)\text{mm} = 9512 \text{ mm}$$

Pengaruh torsi terkecil yang terdeteksi (*threshold*) boleh diabaikan bila momen torsi terfaktor  $T_u$  kurang dari :

$$T_u \leq \phi \cdot 0,083 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f_c} \cdot \left( \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \quad \text{..(SNI 2847-2013 pasal 11.5.1.(a))}$$

$$4002,2 \text{ kN} \leq 0,85 \cdot 0,083 \cdot 1 \cdot \sqrt{50} \cdot \left( \frac{7580000^2}{13000} \right)$$

$$4002,2 \text{ kN} \leq 2204839999,93 \text{ Nmm}$$

$$4002,2 \text{ kN} > 2204,84 \text{ kNm} \dots \text{ maka perlu tulangan puntir}$$

Kuat geser yang disumbangkan oleh beton untuk struktur non prategang sesuai dengan SNI 2847-2013 pasal 11.2.1.2.

$$V_c = 0,17 \cdot \left( 1 + \frac{N_u}{14A_g} \right) \cdot \lambda \cdot \sqrt{f_c} \cdot b_w \cdot d \quad \text{..(SNI 2847-2013 pasal 11.2.1.2)}$$

$$= 0,17 \cdot \left( 1 + \frac{25501,86 \cdot 10^3 \text{ N}}{14,7,58 \cdot 10^6 \text{ mm}} \right) \cdot 1 \cdot \sqrt{50} \text{ MPa} \cdot 2,5 \cdot 10^3 \text{ mm} \cdot 3910 \text{ mm}$$

$$= 14574090,83 \text{ N}$$

Cek dimensi penampang rongga harus memenuhi dengan SNI 2847-2013 pasal 11.5.3.1.(b) dimensi penampang melintang harus memenuhi ketentuan berikut ini :

$$\left( \frac{V_u}{b_w \cdot d} \right) + \left( \frac{T_u \cdot P_h}{1,7 \cdot A_{oh}^2} \right) \leq \phi \left( \frac{V_c}{b_w \cdot d} + \frac{2}{3} \sqrt{f_c} \right)$$

$$\left( \frac{2901780}{2500 \cdot 3910} \right) + \left( \frac{4002,2 \cdot 10^6 \cdot 12512}{1,7 \cdot 9221884} \right) \leq$$

$$0,75 \left( \frac{14574090,83}{2500 \cdot 3910} + \frac{2}{3} \sqrt{50} \right)$$

$$0,64 < 4,62 \dots (\text{penampang cukup besar})$$

Bila torsi melebihi torsi terkecil yang terdeteksi (*threshold*), maka desain penampang sebagai berikut :

$$\phi T_n = T_u \dots (\text{SNI 2847-2013 pasal 11.5.3.5})$$

$$T_n = T_u / \phi$$

$$= 4002,2 \cdot 10^6 / 0,85$$

$$= 4708470588,24 \text{ Nmm}$$

$$= 4708,47 \text{ kNm}$$

$$A_o = 0,85 \cdot A_{oh} \dots (\text{SNI 2847-2013 pasal 11.5.3.6})$$

$$= 0,85 \cdot 9221884 \text{ mm}^2$$

$$= 7838601,4 \text{ mm}^2$$

$$T_n = \frac{(2 \cdot A_o \cdot A_t \cdot f_{yt} \cdot \cot \theta)}{s} \dots (\text{SNI 2847-2013 pasal 11.5.3.6})$$

$$\begin{aligned}\frac{A_t}{s} &= \frac{T_n}{(2 \cdot A_o \cdot f_{yt} \cdot \cot \theta)} \\ &= \frac{4708470588,24}{2 \cdot 7838601,4 \cdot 400 \cdot \cot 45} = 0,75\end{aligned}$$

Luas tulangan longitudinal tambahan menahan torsi

$$\begin{aligned}A_1 &= \frac{A_t}{s} \cdot P_h \cdot \left( \frac{f_{yt}}{f_y} \right) \cdot \cot^2 \theta \text{ ..(SNI 2847-2013 pasal 11.5.3.6)} \\ &= 0,75 \cdot 12512 \cdot \left( \frac{400}{400} \right) \cdot \cot^2 45 \\ &= 9394,59 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Luasan total minimum tulangan torsi longitudinal

$$\begin{aligned}A_{1min} &= \frac{0,42 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot A_{cp}}{f_y} - \left( \frac{A_t}{s} \right) \cdot P_h \cdot \frac{f_{yt}}{f_y} \\ &\text{..(SNI 2847-2013 pasal 11.5.5.3)} \\ &= \frac{0,42 \cdot \sqrt{50} \cdot 7580000}{400} - (0,75) \cdot 12512 \cdot \frac{400}{400} \\ &= 46884,03 \text{ mm}^2\end{aligned}$$

Maka  $A_1$  yang digunakan adalah  $46884,03 \text{ mm}^2$

Dipakai D36

$$\begin{aligned}n &= A_1 / (0,25 \cdot \pi \cdot D^2) \\ &= 46884,03 \text{ mm}^2 / (0,25 \cdot \pi \cdot 36^2) \\ &= 46,06 \text{ buah}\end{aligned}$$

Maka dipakai 48D32 ( $48858,05 \text{ mm}^2$ )

Tulangan sengkang untuk menahan puntir harus dipasang dengan perhitungan berikut ini :

$$T_n = \frac{(2 \cdot A_o \cdot A_t \cdot f_{yt} \cdot \cot \theta)}{s} \text{ ..(SNI 2847-2013 pasal 11.5.3.6)}$$

$$A_t = \frac{T_n \cdot s}{(2 \cdot A_o \cdot f_{yt} \cdot \cot \theta)}$$

Untuk spasi tulangan torsi transversal sesuai dengan SNI 2847-2013 pasal 11.5.6.1 tidak memperbolehkan lebih kecil sebagai berikut :

$$Ph/8 = 12512/8 = 1564 \text{ mm}$$

Atau 300 mm

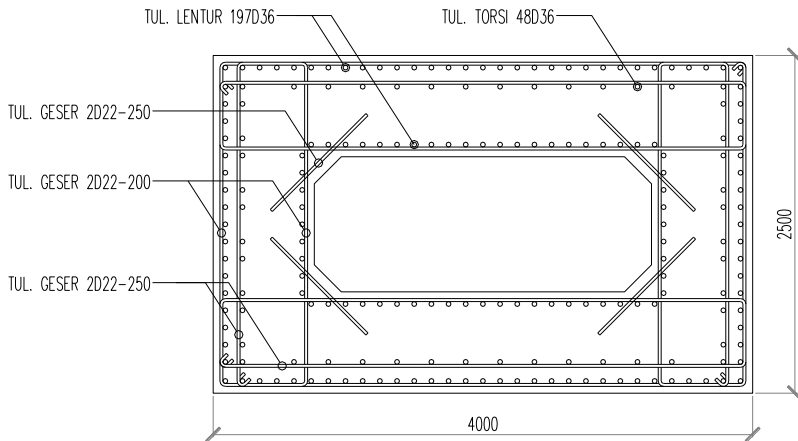
Maka dipakai spasi,  $s = 250 \text{ mm}$

$$\begin{aligned} A_t &= \frac{4708470588,24 \cdot 250}{(2 \cdot 7838601,4 \cdot 400 \cdot \cot 45)} \\ &= 187,71 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Dipakai 2D22-250 untuk tulangan torsi transversal

$$A_s = 760,27 \text{ mm}^2$$

Berikut ini ilustrasi tulangan pada penampang *pylon section A-A* dapat dilihat pada Gambar 4.94.



**Gambar 4.94** Desain penampang *section A-A*

#### 4.7.3. Perhitungan Tulangan Daerah Pengangkuran

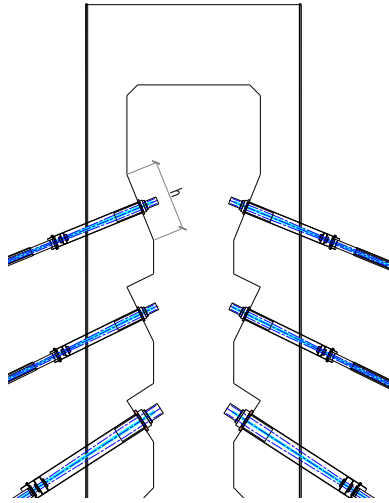
Pada daerah pengangkuran dibutuhkan tambahan penulangan untuk menahan pancaran (*bursting*) dan pengelupasan (*spalling*) agar saat kabel dilakukan *stressing* pada *pylon* tidak mengalami hancur pada beton.

Perhitungan tulangan pancaran (*bursting*) dan pengelupasan (*spalling*) dicontohkan pada angkur kabel  $S_1$ .

$$P_{pu} = 815,71 \text{ kN}$$

$$a = C1 = 290 \text{ mm (brosur VSL SSI 2000 Streessing End)}$$

$$h = 1327 \text{ mm (sesui gambar)}$$



**Gambar 4.95** Daerah pengangukuran pada *pylon*

1. Akibat pancaran (*bursting*)

$$T_{\text{pencar}} = 0,25 \cdot P_{\text{pu}} \text{ ..(SNI 2847-2013 pasal 18.13.3.3)}$$

$$T_{\text{pencar}} = 0,25 \cdot P_{\text{pu}} \cdot \left(1 - \frac{a}{h}\right)$$

$$T_{\text{pencar}} = 0,25 \cdot 815,7 \cdot 10^3 \cdot \left(1 - \frac{290}{1327}\right)$$

$$T_{\text{pencar}} = 159362,5 \text{ N}$$

$$d_{\text{pencar}} = 0,5 h = 0,5 (1327) = 663,5 \text{ mm}$$

Digunakan sengkang D16 ( $A_s = 201,06 \text{ mm}^2$ )

$$\begin{aligned} A_{\text{Sperlu}} &= T_{\text{pencar}} / f_{ys} \\ &= 159362,5 \text{ N} / 400 \text{ N/mm}^2 \\ &= 398,41 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} n &= A_{\text{Sperlu}} / A_s \\ &= 398,41 / 201,06 \\ &= 1,98 \text{ buah} \approx 2 \text{ buah} \end{aligned}$$

Menentukan jarak antar sengkang untuk menahan pancaran

$$S = d_{\text{pencar}} / n = 663,5 / 2 = 331,75$$

Maka dipasang sengkang 2D16-150

2. Akibat pengelupasan (*spalling*)

Untuk mencegah terjadi pecah (*spalling*), dipasang tulangan dengan kuat tarik 3%P

$$2\% \cdot P = 0,2 \cdot 815,71 \cdot 10^3 = 24471,44 \text{ N}$$

$$\begin{aligned} A_{S_{\text{perlu}}} &= 2\% \cdot P / f_y \\ &= 24471,44 / 400 \\ &= 61,18 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Digunakan tulangan UD16 ( $A_s = 201,06 \text{ mm}^2$ )

$$\begin{aligned} n &= A_{S_{\text{perlu}}} / A_s \\ &= 61,18 / 201,06 \\ &= 0,31 \text{ buah} \approx 2 \text{ buah} \end{aligned}$$

Untuk kebutuhan tulangan pada kabel yang lain akan dapat dilihat pada Tabel 4.45.

**Tabel 4.45** Kebutuhan tulangan pada daerah angkur kabel

| Kabel | Anker | C1   | P        | Pencaran ( <i>bursting</i> ) |                |   |        | Pecah ( <i>Spalling</i> ) |   |
|-------|-------|------|----------|------------------------------|----------------|---|--------|---------------------------|---|
|       |       | (mm) | (kN)     | T <sub>pencar</sub>          | A <sub>s</sub> | n | jarak  | A <sub>s</sub>            | n |
| S1    | 12    | 290  | 815.71   | 159,362.50                   | 398.41         | 4 | 165.88 | 61.18                     | 2 |
| S2    | 12    | 290  | 796.96   | 148,421.55                   | 371.05         | 4 | 142.13 | 59.77                     | 2 |
| S3    | 31    | 440  | 3,309.64 | 432,122.16                   | 1,080.31       | 6 | 76.75  | 248.22                    | 2 |
| S4    | 43    | 540  | 4,944.02 | 274,271.77                   | 685.68         | 4 | 86.75  | 370.80                    | 2 |
| S5    | 43    | 540  | 3,285.39 | 55,323.91                    | 138.31         | 4 | 72.38  | 246.40                    | 2 |

#### 4.7.4. Analisa Balok Pangaku

Untuk analisa balok pangaku akan menggunakan dari gaya dalam dengan beberapa kondisi pembebanan antara lain adalah beban statik, beban dinamik (gempa) dan beban saat pelaksanaan. Akan tetapi beban yang digunakan merupakan beban dengan nilai gaya dalam terbesar dari kombinasi yang direncanakan.



#### 4.7.4.1. Perhitungan Tulangan Lentur balok *section B-B*

Gaya dalam yang digunakan dengan nilai maksimum

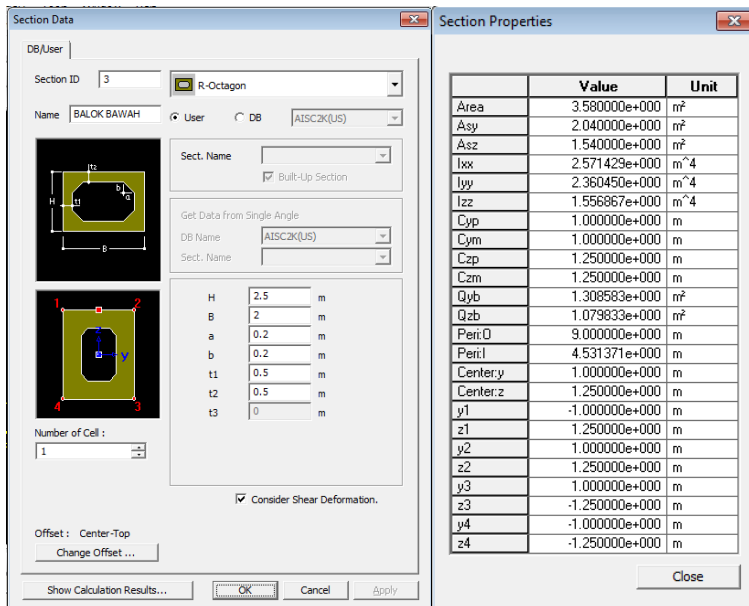
|          |              |       |               |
|----------|--------------|-------|---------------|
| $P_u$    | = 2375,14 kN | $M_Y$ | = 6285,38 kNm |
| $V_{uy}$ | = 53,77 kN   | $M_Z$ | = 930,99 kNm  |
| $V_{uz}$ | = 1697,71 kN |       |               |
| $M_t$    | = 307,87 kNm |       |               |

Berikut ini data perencanaan yang berupa section properties dari pylon yang didapatkan dari program bantu MIDAS CIVIL dapat dilihat pada Gambar 4.96.

|                          |                             |
|--------------------------|-----------------------------|
| Mutu Beton ( $f'_c$ )    | = 50 MPa                    |
| Mutu Tulangan ( $f_y$ )  | = 400 MPa                   |
| Luas Penampang ( $A_g$ ) | = 3,58 m <sup>2</sup>       |
|                          | = 35800 cm <sup>2</sup>     |
| Inersia arah y ( $I_y$ ) | = 236045000 cm <sup>4</sup> |
| Inersia arah z ( $I_z$ ) | = 155686700 cm <sup>4</sup> |
| Modulus Elastisitas      | = 33234,02 MPa              |

Tulangan yang digunakan adalah :

|                           |         |
|---------------------------|---------|
| Tulangan utama (lentur)   | = 22 mm |
| Tulangan sengkang (geser) | = 16 mm |
| Tulangan puntir (torsi)   | = 22 mm |
| Tebal selimut beton       | = 50 mm |



**Gambar 4.96** Section properties penampang pylon section B-B

### Perhitungan Tulangan Longitudinal

Struktur yang mengalami tekan dapat diabaikan bila kurang dari berikut ini :

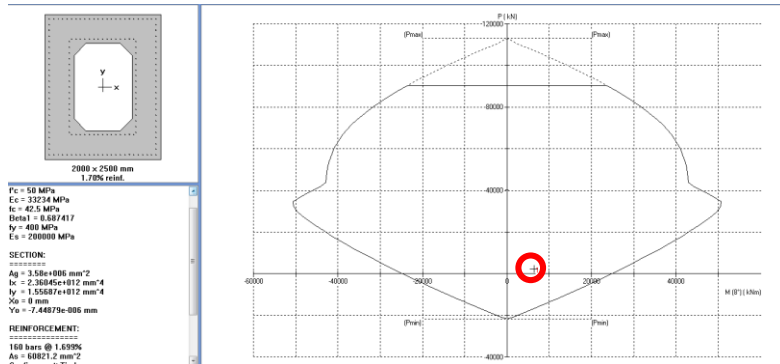
$$\begin{aligned}
 P_u &< 0,1 \cdot f'_c \cdot A_g \\
 P_u &< 0,1 \cdot 50 \cdot 3,58 \cdot 10^6 \\
 P_u &< 17,9 \cdot 10^6 \text{ N} \\
 2375,14 \text{ kN} &< 17900 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Maka gaya aksial tekan dapat diabaikan

Direncanakan tulangan longitudinal menggunakan D22 ( $f_y = 400 \text{ MPa}$ ), sedangkan untuk tulangan geser menggunakan D16 ( $f_y = 400 \text{ MPa}$ ).

Penampang balok pengaku akan dianalisa menggunakan *Spcolumn* untuk menganalisa gaya dalam akibat beban aksial dan

momen, untuk lebih jelas dapat dilihat pada Gambar 4.97 berikut ini :



**Gambar 4.97** Gambar grafik diagram interaksi *SpColumn*

Dari hasil analisa didapat :

160 buah D22 (1,70%)

$A_s = 60821,2 \text{ mm}^2$

### Kontrol jarak antar tulangan

$$\begin{aligned}
 S_y &= \frac{b_w - 2 \cdot h_{\text{selimut}} - 2 \cdot n_{\text{tul.sengkan}} - n_{\text{tul.utama}}}{n - 1} \\
 &= \frac{2000 - 2 \cdot 50 - 2 \cdot 16 - 25 \cdot 22}{25 - 1} \\
 &= 54,92 \text{ mm} \dots (\text{OK}) > 40 \text{ mm} \dots (\text{SNI 2847-2013 ps 7.6.3})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 S_z &= \frac{b_w - 2 \cdot h_{\text{selimut}} - 2 \cdot n_{\text{tul.sengkan}} - n_{\text{tul.utama}}}{n - 1} \\
 &= \frac{2500 - 2 \cdot 50 - 2 \cdot 16 - 25 \cdot 22}{25 - 1} \\
 &= 75,75 \text{ mm} \dots (\text{OK}) > 40 \text{ mm} \dots (\text{SNI 2847-2013 ps 7.6.3})
 \end{aligned}$$

Jarak antar tulangan memenuhi, sehingga penampang *pylon section* B-B dan tulangan desain dapat digunakan.

#### 4.7.4.2. Perhitungan Tulangan Geser *section* B-B

Gaya dalam yang terjadi pada *section* B-B :

$$P_u = 2375,14 \text{ kN}$$

$$V_{uy} = 53,77 \text{ kN}$$

$$V_{uz} = 1697,71 \text{ kN}$$

Menghitung tinggi efektif

$$\begin{aligned} d_y &= h - h_{\text{selimut}} - D_{\text{tul. sengkang}} - \frac{1}{2} D_{\text{tul. utama}} \\ &= 2500 - 50 - 16 - \frac{1}{2} \cdot 22 \\ &= 2423 \text{ mm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} d_z &= h - h_{\text{selimut}} - D_{\text{tul. sengkang}} - \frac{1}{2} D_{\text{tul. utama}} \\ &= 2000 - 50 - 16 - \frac{1}{2} \cdot 22 \\ &= 1923 \text{ mm} \end{aligned}$$

*Penulangan geser sumbu y pada pylon*

$$\begin{aligned} V_c &= 0,17 \cdot \left( 1 + \frac{N_u}{14A_g} \right) \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d \\ &\quad \dots (\text{SNI 2847-2013 pasal 11.2.1.2}) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &= 0,17 \cdot \left( 1 + \frac{2375,14 \cdot 10^3 \text{ N}}{14 \cdot 3,58 \cdot 10^6 \text{ mm}^2} \right) \cdot 1 \cdot \sqrt{50 \text{ MPa}} \cdot 2 \cdot 10^3 \text{ mm} \cdot 2423 \text{ mm} \\ &= 6101342 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi V_c &= 0,85 \cdot 6101342 \text{ N} \\ &= 5186140,7 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 0,5\phi V_c &= 0,5 \cdot 5186140,7 \text{ N} \dots (\text{SNI 2847-2013 pasal 11.4.6.1}) \\ &= 2593070,35 \text{ N} \end{aligned}$$

Nilai  $0,5\phi V_c > V_u = 53770 \text{ N}$ , maka tidak perlu tulangan geser  
Menggunakan geser minimum

$$V_u \leq \phi V_n \dots (\text{SNI 2847-2013 pasal 11.1.1})$$

$$V_n = V_c + V_s$$

$$V_u < \phi (V_c + V_s)$$

$$A_{v_{min}} = 0,35 b_w \cdot \frac{s}{f_{yt}} \dots (\text{SNI 2847-2013 pasal 11.4.6.3})$$

$$V_s = \frac{A_v \cdot f_{yt} \cdot d_y}{s} \dots (\text{SNI 2847-2013 pasal 11.4.7.2})$$

$$V_s = \frac{\left( 0,35 \cdot b_w \cdot \frac{s}{f_{yt}} \right) \cdot f_{yt} \cdot d_y}{s}$$

$$\begin{aligned} V_s &= 0,35 \cdot b_w \cdot d_y \\ &= 0,35 \cdot 2 \cdot 10^3 \cdot 2423 \\ &= 1696100 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_s &= 0,33 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d_y \dots (\text{SNI 2847-2013 pasal 11.4.5.2}) \\ &= 0,33 \cdot \sqrt{50} \cdot 2 \cdot 10^3 \cdot 2423 \\ &= 11307910,22 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{array}{ll} V_s = 0,35 \cdot b_w \cdot d_y & < & V_s = 0,33 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d_y \\ 1696100 \text{ N} & < & 11307910,22 \text{ N} \dots (\text{OK}) \end{array}$$

$$\begin{array}{ll} V_u & < & \phi (V_c + V_s) \\ V_u/\phi & < & (V_c + V_s) \\ 53770/0,85 & < & (6101342 + 1696100) \\ 63258,82 \text{ N} & < & 7797442 \text{ N} \dots (\text{OK}) \end{array}$$

Maka dipakai 2D16

$$V_s = \frac{A_v \cdot f_{yt} \cdot d_y}{s}$$

$$\begin{aligned}
 s &= \frac{A_v \cdot f_{yt} \cdot d_y}{V_s} \\
 &= \frac{(2.0,25 \cdot \pi \cdot 16^2) \cdot 400 \cdot 2423}{1696100} \\
 &= 229,79 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 21.3.4.2 spasi antar tulangan geser tidak boleh kurang dari :

$$d_y/4 = 2423/4 = 1250 \text{ mm}$$

$$8 D_{\text{tul. longitudinal}} = 8 \cdot 22 = 176 \text{ mm}$$

$$24 D_{\text{tul. transversal}} = 24 \cdot 16 = 384 \text{ mm}$$

Atau 300

Maka jarak sengkang yang digunakan adalah 2D16-150

*Penulangan geser sumbu z pada pylon*

$$\begin{aligned}
 V_c &= 0,17 \cdot \left( 1 + \frac{N_u}{14A_g} \right) \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d \\
 &\quad \dots (\text{SNI 2847-2013 pasal 11.2.1.2})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 0,17 \cdot \left( 1 + \frac{2375,14 \cdot 10^3 \text{ N}}{14,3,58 \cdot 10^6 \text{ mm}^2} \right) \cdot 1 \cdot \sqrt{50 \text{ MPa}} \cdot 2,5 \cdot 10^3 \text{ mm} \cdot 1923 \text{ mm} \\
 &= 6052868,69 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\phi V_c = 0,85 \cdot 6052868,69 \text{ N}$$

$$= 5144938,39 \text{ N}$$

$$0,5\phi V_c = 0,5 \cdot 5144938,39 \text{ N} \dots (\text{SNI 2847-2013 pasal 11.4.6.1})$$

$$= 2572469,19 \text{ N}$$

Nilai  $0,5\phi V_c > V_u = 1697710 \text{ N}$ , maka tidak perlu tulangan geser

Menggunakan geser minimum

$$V_u \leq \phi V_n \dots (\text{SNI 2847-2013 pasal 11.1.1})$$

$$V_n = V_c + V_s$$

$$V_u < \phi (V_c + V_s)$$

$$A_{v_{\min}} = 0,35 b_w \cdot \frac{s}{f_{yt}} \dots (\text{SNI 2847-2013 pasal 11.4.6.3})$$

$$V_s = \frac{A_v \cdot f_{yt} \cdot d_y}{s} \dots (\text{SNI 2847-2013 pasal 11.4.7.2})$$

$$V_s = \frac{\left( 0,35 \cdot b_w \cdot \frac{s}{f_{yt}} \right) \cdot f_{yt} \cdot d_y}{s}$$

$$\begin{aligned} V_s &= 0,35 \cdot b_w \cdot d_y \\ &= 0,35 \cdot 2,5 \cdot 10^3 \cdot 2923 \\ &= 1682625 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} V_s &= 0,33 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d_y \dots (\text{SNI 2847-2013 pasal 11.4.5.2}) \\ &= 0,33 \sqrt{50} \cdot 2,5 \cdot 10^3 \cdot 2923 \\ &= 11218072,31 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\begin{array}{ll} V_s = 0,35 \cdot b_w \cdot d_y & < & V_s = 0,33 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d_y \\ 1682625 \text{ N} & < & 11218072,31 \text{ N} \dots (\text{OK}) \end{array}$$

$$\begin{array}{ll} V_u & < & \phi (V_c + V_s) \\ V_u/\phi & < & (V_c + V_s) \\ 1697710/0,85 & < & (6052868,69 + 1682625) \\ 1997305,88 \text{ N} & < & 7735493,69 \text{ N} \dots (\text{OK}) \end{array}$$

Maka dipakai 2D16

$$V_s = \frac{A_v \cdot f_{yt} \cdot d_y}{s}$$

$$s = \frac{A_v \cdot f_{yt} \cdot d_y}{V_s}$$

$$= \frac{(2.0,25 \cdot \pi \cdot 16^2) \cdot 400 \cdot 1923}{1682625}$$

$$= 183,83 \text{ mm}$$

Berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 21.3.4.2 spasi antar tulangan geser tidak boleh kurang dari :

$$\begin{aligned} d_z/4 &= 1923/4 &= 480,75 \text{ mm} \\ 8 D_{\text{tul. longitudinal}} &= 8 \cdot 22 &= 176 \text{ mm} \\ 24 D_{\text{tul. transversal}} &= 24 \cdot 16 &= 384 \text{ mm} \\ \text{Atau } 300 \end{aligned}$$

Maka jarak sengkang yang digunakan adalah 2D16-150

#### 4.7.4.3. Perhitungan Tulangan Puntir *section B-B*

Gaya dalam yang terjadi pada *section B-B* :

$$\begin{aligned} P_u &= 2375,14 \text{ kN} \\ M_t &= 307,87 \text{ kNm} \end{aligned}$$

Kontrol terhadap puntir dapat diabaikan apabila kurang dari yang ditentukan oleh SNI 2847-2013 pasal 11.5.1.(a) untuk penampang berongga dimana  $A_g$  digunakan pengganti sebagai  $A_{cp}$

$$\begin{aligned} A_{cp} &= &= 3580000 \text{ mm}^2 \\ P_{cp} &= 2(2500 + 2000)\text{mm} &= 9000 \text{ mm} \\ x_1 &= 2000\text{mm} - 2(50 + 0,5 \cdot 16)\text{mm} &= 1884 \text{ mm} \\ x_2 &= 2500\text{mm} - 2(50 + 0,5 \cdot 16)\text{mm} &= 2384 \text{ mm} \\ A_{oh} &= (1884 \cdot 2384)\text{mm}^2 &= 4491456 \text{ mm}^2 \\ P_h &= 2 \cdot (1884 + 2384)\text{mm} &= 8536 \text{ mm} \end{aligned}$$

Pengaruh torsi terkecil yang terdeteksi (*threshold*) boleh diabaikan bila momen torsi terfaktor  $T_u$  kurang dari :

$$T_u \leq \phi \cdot 0,083 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f_c} \cdot \left( \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right)$$

..(SNI 2847-2013 pasal 11.5.1.(a))

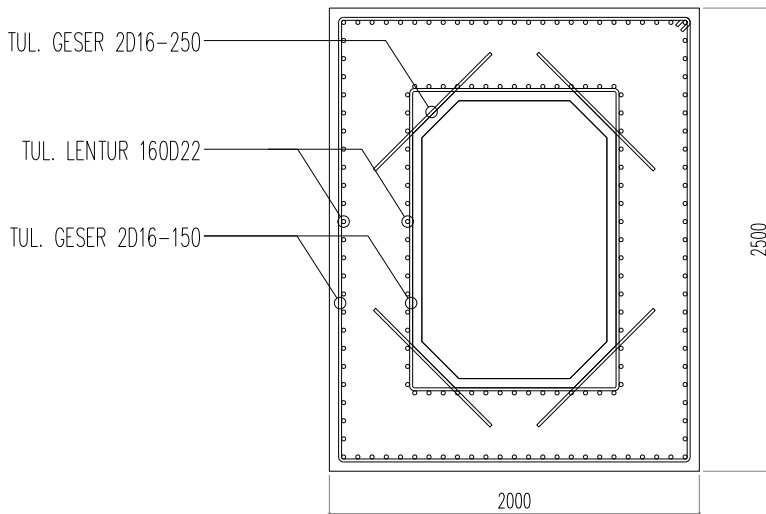


$$307,87 \text{ kN} \leq 0,85 \cdot 0,083 \cdot 1 \cdot \sqrt{50} \cdot \left( \frac{3580000^2}{9000} \right)$$

$$307,87 \text{ kN} \leq 710404271,52 \text{ Nmm}$$

307,87 kN < 710,4 kNm... maka tidak perlu tulangan puntir

Berikut ini ilustrasi tulangan pada penampang balok pengaku *section B-B* dapat dilihat pada Gambar 4.987.



**Gambar 4.98** Desain penampang *section B-B*

#### 4.7.4.4. Perhitungan Tulangan Lentur balok *section C-C*

Gaya dalam yang digunakan dengan nilai maksimum

|          |                        |       |                         |
|----------|------------------------|-------|-------------------------|
| $P_u$    | $= 2527,68 \text{ kN}$ | $M_Y$ | $= 7300,87 \text{ kNm}$ |
| $V_{uy}$ | $= 43,06 \text{ kN}$   | $M_Z$ | $= 701,29 \text{ kNm}$  |
| $V_{uz}$ | $= 1793,08 \text{ kN}$ |       |                         |
| $M_t$    | $= 71,64 \text{ kNm}$  |       |                         |



### Perhitungan Tulangan Longitudinal

Struktur yang mengalami tekan dapat diabaikan bila kurang dari berikut ini :

$$P_u < 0,1 \cdot f'_c \cdot A_g$$

$$P_u < 0,1 \cdot 50 \cdot 1,8 \cdot 10^6$$

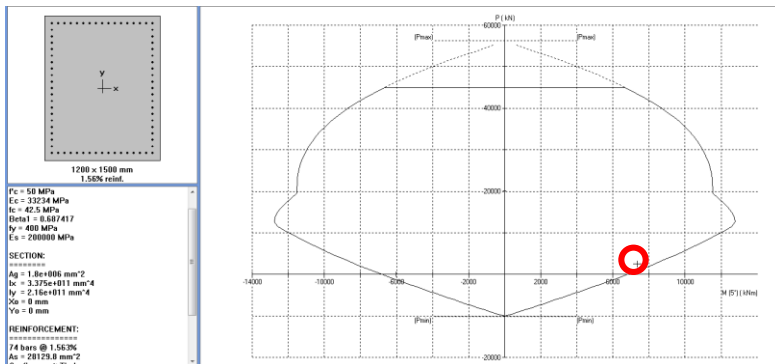
$$P_u < 9 \cdot 10^6 \text{ N}$$

$$2527,68 \text{ kN} < 9000 \text{ kN}$$

Maka gaya aksial tekan dapat diabaikan

Direncanakan tulangan longitudinal menggunakan D22 ( $f_y = 400 \text{ MPa}$ ), sedangkan untuk tulangan geser menggunakan D16 ( $f_y = 400 \text{ MPa}$ ).

Penampang balok pengaku akan dianalisa menggunakan *Spcolumn* untuk menganalisa gaya dalam akibat beban aksial dan momen, untuk lebih jelas dapat dilihat pada Gambar 4.100 berikut ini :



**Gambar 4.100** Gambar grafik diagram interaksi *SpColumn*

Dari hasil analisa didapat :

74 buah D22 (1,56%)

$$A_s = 60821,2 \text{ mm}^2$$

Kontrol jarak antar tulangan

$$\begin{aligned}
 S_y &= \frac{b_w - 2 \cdot h_{\text{selimut}} - 2 \cdot d_{\text{tul.sengkan}} - n_{\text{tul.utama}}}{n - 1} \\
 &= \frac{1200 - 2 \cdot 50 - 2 \cdot 16 - 18 \cdot 22}{18 - 1} \\
 &= 39,53 \text{ mm} \cdot \cdot (\text{OK}) > 33 \text{ mm} \cdot \cdot (\text{SNI 2847-2013 ps 7.6.3}) \\
 S_z &= \frac{b_w - 2 \cdot h_{\text{selimut}} - 2 \cdot d_{\text{tul.sengkan}} - n_{\text{tul.utama}}}{n - 1} \\
 &= \frac{1500 - 2 \cdot 50 - 2 \cdot 16 - 21 \cdot 22}{21 - 1} \\
 &= 45,30 \text{ mm} \cdot \cdot (\text{OK}) > 33 \text{ mm} \cdot \cdot (\text{SNI 2847-2013 ps 7.6.3})
 \end{aligned}$$

Jarak antar tulangan memenuhi, sehingga penampang *pylon section* C-C dan tulangan desain dapat digunakan.

**4.7.4.5. Perhitungan Tulangan Geser *section* C-C**

Gaya dalam yang terjadi pada *pylon* :

$$\begin{aligned}
 P_u &= 2527,68 \text{ kN} \\
 V_{uy} &= 43,77 \text{ kN} \\
 V_{uz} &= 1793,08 \text{ kN}
 \end{aligned}$$

Menghitung tinggi efektif

$$\begin{aligned}
 d_y &= h - h_{\text{selimut}} - D_{\text{tul. sengan}} - \frac{1}{2} D_{\text{tul.utama}} \\
 &= 1500 - 50 - 16 - \frac{1}{2} \cdot 22 \\
 &= 1423 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 d_z &= h - h_{\text{selimut}} - D_{\text{tul. sengan}} - \frac{1}{2} D_{\text{tul.utama}} \\
 &= 1200 - 50 - 16 - \frac{1}{2} \cdot 22 \\
 &= 1123 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

*Penulangan geser sumbu y pada pylon*

$$\begin{aligned}
 V_c &= 0,17 \cdot \left( 1 + \frac{N_u}{14A_g} \right) \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d \\
 &\quad \dots (\text{SNI 2847-2013 pasal 11.2.1.2}) \\
 &= 0,17 \cdot \left( 1 + \frac{2527,68 \cdot 10^3 \text{ N}}{14 \cdot 1,8 \cdot 10^6 \text{ mm}^2} \right) \cdot 1 \cdot \sqrt{50 \text{ MPa}} \cdot 1,2 \cdot 10^3 \text{ mm} \cdot 1423 \text{ mm} \\
 &= 2258567,44 \text{ N} \\
 \phi V_c &= 0,85 \cdot 2258567,44 \text{ N} \\
 &= 1919782,32 \text{ N} \\
 0,5\phi V_c &= 0,5 \cdot 1919782,32 \text{ N} \dots (\text{SNI 2847-2013 pasal 11.4.6.1}) \\
 &= 959891,16 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Nilai  $0,5\phi V_c > V_u = 43060 \text{ N}$ , maka tidak perlu tulangan geser

Menggunakan geser minimum

$V_u \leq \phi V_n \dots (\text{SNI 2847-2013 pasal 11.1.1})$

$V_n = V_c + V_s$

$V_u < \phi (V_c + V_s)$

$$A_{v_{\min}} = 0,35 b_w \cdot \frac{s}{f_{yt}} \dots (\text{SNI 2847-2013 pasal 11.4.6.3})$$

$$V_s = \frac{A_v \cdot f_{yt} \cdot d_y}{s} \dots (\text{SNI 2847-2013 pasal 11.4.7.2})$$

$$V_s = \frac{\left( 0,35 \cdot b_w \cdot \frac{s}{f_{yt}} \right) \cdot f_{yt} \cdot d_y}{s}$$

$$\begin{aligned}
 V_s &= 0,35 \cdot b_w \cdot d_y \\
 &= 0,35 \cdot 1,2 \cdot 10^3 \cdot 1423 \\
 &= 597660 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_s &= 0,33 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d_y \cdot \dots (\text{SNI 2847-2013 pasal 11.4.5.2}) \\
 &= 0,33 \cdot \sqrt{50} \cdot 1,2 \cdot 10^3 \cdot 1423 \\
 &= 39846023,28 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_s = 0,35 \cdot b_w \cdot d_y &< V_s = 0,33 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d_y \\
 597660 \text{ N} &< 39846023,28 \text{ N} \dots (\text{OK})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_u &< \phi (V_c + V_s) \\
 V_u/\phi &< (V_c + V_s) \\
 43060/0,85 &< (2258567,44 + 597660) \\
 50658,82 \text{ N} &< 7797442 \text{ N} \dots (\text{OK})
 \end{aligned}$$

Maka dipakai 2D16

$$\begin{aligned}
 V_s &= \frac{A_v \cdot f_{yt} \cdot d_y}{s} \\
 s &= \frac{A_v \cdot f_{yt} \cdot d_y}{V_s} \\
 &= \frac{(2 \cdot 0,25 \cdot \pi \cdot 16^2) \cdot 400 \cdot 1423}{597660} \\
 &= 382,98 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 21.3.4.2 spasi antar tulangan geser tidak boleh kurang dari :

$$\begin{aligned}
 d_y/4 &= 1423/4 &= 355,75 \text{ mm} \\
 8 D_{\text{tul. longitudinal}} &= 8 \cdot 22 &= 176 \text{ mm} \\
 24 D_{\text{tul. transversal}} &= 24 \cdot 16 &= 384 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Atau 300

Maka jarak sengkang yang digunakan adalah 2D16-150

*Penulangan geser sumbu z pada pylon*

$$\begin{aligned}
 V_c &= 0,17 \cdot \left( 1 + \frac{N_u}{14A_g} \right) \cdot \lambda \cdot \sqrt{f_c} \cdot b_w \cdot d \\
 &\quad \dots (\text{SNI 2847-2013 pasal 11.2.1.2}) \\
 &= 0,17 \cdot \left( 1 + \frac{2527,68 \cdot 10^3 \text{ N}}{14 \cdot 1,8 \cdot 10^6 \text{ mm}} \right) \cdot 1 \cdot \sqrt{50 \text{ MPa}} \cdot 1,5 \cdot 10^3 \text{ mm} \cdot 1123 \text{ mm} \\
 &= 2228014,08 \text{ N} \\
 \phi V_c &= 0,85 \cdot 2228014,08 \text{ N} \\
 &= 1893811,97 \text{ N} \\
 0,5\phi V_c &= 0,5 \cdot 1893811,97 \text{ N} \dots (\text{SNI 2847-2013 pasal 11.4.6.1}) \\
 &= 946905,98 \text{ N}
 \end{aligned}$$

Nilai  $0,5\phi V_c > V_u = 1793080 \text{ N}$ , maka perlu tulangan geser minimum

Menggunakan geser minimum

$$V_u \leq \phi V_n \dots (\text{SNI 2847-2013 pasal 11.1.1})$$

$$V_n = V_c + V_s$$

$$V_u < \phi (V_c + V_s)$$

$$A_{v_{\min}} = 0,35 b_w \cdot \frac{s}{f_{yt}} \dots (\text{SNI 2847-2013 pasal 11.4.6.3})$$

$$V_s = \frac{A_v \cdot f_{yt} \cdot d_y}{s} \dots (\text{SNI 2847-2013 pasal 11.4.7.2})$$

$$V_s = \frac{\left( 0,35 \cdot b_w \cdot \frac{s}{f_{yt}} \right) \cdot f_{yt} \cdot d_y}{s}$$

$$\begin{aligned}
 V_s &= 0,35 \cdot b_w \cdot d_y \\
 &= 0,35 \cdot 1,5 \cdot 10^3 \cdot 1123 \\
 &= 589575 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_s &= 0,33 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d_y \cdot \dots (\text{SNI 2847-2013 pasal 11.4.5.2}) \\
 &= 0,33 \cdot \sqrt{50} \cdot 1,5 \cdot 10^3 \cdot 1123 \\
 &= 3930700,53 \text{ N}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_s = 0,35 \cdot b_w \cdot d_y &< V_s = 0,33 \cdot \sqrt{f'_c} \cdot b_w \cdot d_y \\
 589575 \text{ N} &< 3930700,53 \text{ N} \dots (\text{OK})
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 V_u &< \phi (V_c + V_s) \\
 V_u/\phi &< (V_c + V_s) \\
 1793080/0,85 &< (2228014,08 + 589575) \\
 2109505,88 \text{ N} &< 2817589,08 \text{ N} \dots (\text{OK})
 \end{aligned}$$

Maka dipakai 2D16

$$\begin{aligned}
 V_s &= \frac{A_v \cdot f_{yt} \cdot d_y}{s} \\
 s &= \frac{A_v \cdot f_{yt} \cdot d_y}{V_s} \\
 &= \frac{(2 \cdot 0,25 \cdot \pi \cdot 16^2) \cdot 400 \cdot 1123}{589575} \\
 &= 306,38 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Berdasarkan SNI 2847-2013 pasal 21.3.4.2 spasi antar tulangan geser tidak boleh kurang dari :

$$\begin{aligned}
 d_s/4 &= 1123/4 &= 280,75 \text{ mm} \\
 8 D_{\text{tul. longitudinal}} &= 8 \cdot 22 &= 176 \text{ mm} \\
 24 D_{\text{tul. transversal}} &= 24 \cdot 16 &= 384 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Atau 300

Maka jarak sengkang yang digunakan adalah 2D16-150



#### 4.7.4.6. Perhitungan Tulangan Puntir section C-C

Gaya dalam yang terjadi pada *pylon* :

$$P_u = 2527,68 \text{ kN}$$

$$M_t = 71,64 \text{ kNm}$$

Kontrol terhadap puntir dapat diabaikan apabila kurang dari yang ditentukan oleh SNI 2847-2013 pasal 11.5.1.(a) untuk penampang solid dimana  $A_g$  digunakan pengganti sebagai  $A_{cp}$

$$A_{cp} = (1500 \cdot 1200) \text{ mm} = 1800000 \text{ mm}^2$$

$$P_{cp} = 2(1500 + 1200) \text{ mm} = 5400 \text{ mm}$$

$$x_1 = 1200 \text{ mm} - 2(50 + 0,5 \cdot 16) \text{ mm} = 1084 \text{ mm}$$

$$x_2 = 1500 \text{ mm} - 2(50 + 0,5 \cdot 16) \text{ mm} = 1384 \text{ mm}$$

$$A_{oh} = (1084 \cdot 1384) \text{ mm}^2 = 1500256 \text{ mm}^2$$

$$P_h = 2 \cdot (1884 + 2384) \text{ mm} = 4936 \text{ mm}$$

Pengaruh torsi terkecil yang terdeteksi (*threshold*) boleh diabaikan bila momen torsi terfaktor  $T_u$  kurang dari :

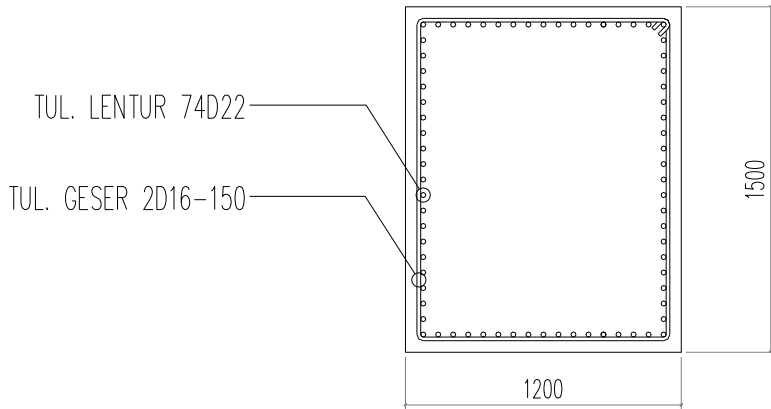
$$T_u \leq \phi \cdot 0,083 \cdot \lambda \cdot \sqrt{f'_c} \cdot \left( \frac{A_{cp}^2}{P_{cp}} \right) \quad \dots (\text{SNI 2847-2013 pasal 11.5.1.(a)})$$

$$71,64 \text{ kN} \leq 0,85 \cdot 0,083 \cdot 1 \cdot \sqrt{50} \cdot \left( \frac{1800000^2}{5400} \right)$$

$$71,64 \text{ kN} \leq 299318300,48 \text{ Nmm}$$

$$71,64 \text{ kN} < 292,32 \text{ kNm} \dots \text{ maka tidak perlu tulangan puntir}$$

Berikut ini ilustrasi tulangan pada penampang balok pengaku section C-C dapat dilihat pada Gambar 4.101.



**Gambar 4.101** Desain penampang *section C-C*

#### 4.8. Anker Pada Pylon

Anker dipasang dengan menyesuaikan jumlah *strand* yang telah dihitung. Analisa yang digunakan meliputi cek tegangan pada beton saat pemberian gaya tarik (*stressing*).

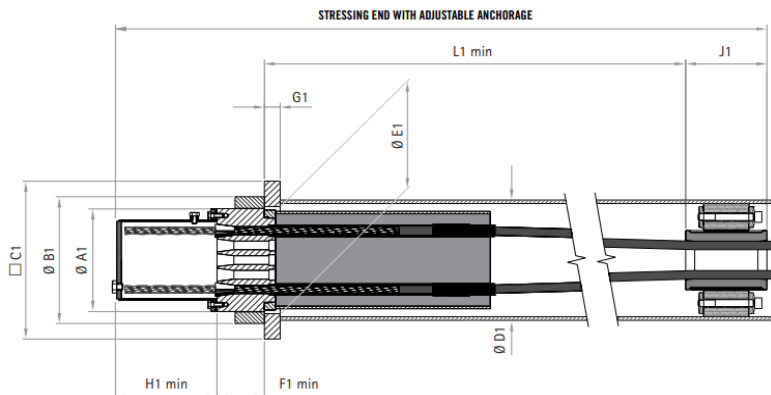
##### 4.8.1. Gaya Dalam pada Pylon

Gaya dalam yang dipakai dari output program bantu MIDAS ialah gaya tarik yang memiliki nilai tertinggi. Berikut ini adalah nilai gaya tarik yang terjadi dapat dilihat pada Tabel 4.46

**Tabel 4.46** Hasil analisa gaya tarik dari  $A_{pakai}$

| Kabel | Force (kN) |
|-------|------------|
| S1    | 815.71     |
| S2    | 796.96     |
| S3    | 3,309.64   |
| S4    | 4,944.02   |
| S5    | 3,285.39   |

##### 4.8.2. Perhitungan Anker Pada Pylon

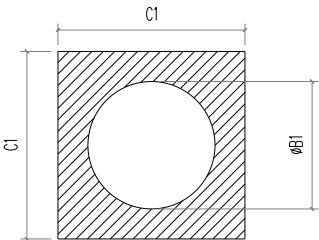


**Gambar 4.102** Detail anker VSL SSI 2000 untuk *pylon*

| STRESSING END |                   |                       |              |                  |     |     |     |           |     |        |    |        |     |        |
|---------------|-------------------|-----------------------|--------------|------------------|-----|-----|-----|-----------|-----|--------|----|--------|-----|--------|
| TENDON UNIT   | Number of strands | Minimum breaking load | Force at 45% | Transverse force | ØA1 | ØB1 | C1  | ØD1       | ØE1 | F1 min | G1 | H1 min | J1  | L1 min |
|               | n                 | kN                    | kN           | kN               | mm  | mm  | mm  | mm        | mm  | mm     | mm | mm     | mm  | mm     |
| 6-12          | 12                | 3348                  | 1507         | 50               | 190 | 230 | 290 | 219.1/6.3 | 196 | 85     | 30 | 235    | 160 | 1500   |
| 6-19          | 19                | 5301                  | 2385         | 80               | 235 | 285 | 355 | 267/6.3   | 241 | 100    | 35 | 245    | 180 | 1750   |
| 6-22          | 22                | 6138                  | 2762         | 90               | 255 | 310 | 385 | 298.5/7.1 | 261 | 110    | 40 | 245    | 210 | 1900   |
| 6-31          | 31                | 8649                  | 3892         | 130              | 285 | 350 | 440 | 323.9/7.1 | 291 | 130    | 45 | 275    | 210 | 2100   |
| 6-37          | 37                | 10323                 | 4645         | 150              | 310 | 380 | 485 | 355.6/8.0 | 316 | 140    | 50 | 295    | 210 | 2300   |
| 6-43          | 43                | 11997                 | 5399         | 180              | 350 | 425 | 540 | 406.4/8.8 | 356 | 145    | 55 | 305    | 260 | 2550   |
| 6-55          | 55                | 15345                 | 6905         | 230              | 385 | 470 | 585 | 419/10    | 391 | 165    | 60 | 325    | 260 | 2650   |
| 6-61          | 61                | 17019                 | 7659         | 250              | 385 | 470 | 600 | 419/10    | 391 | 180    | 65 | 345    | 290 | 2850   |
| 6-73          | 73                | 20367                 | 9165         | 300              | 440 | 530 | 680 | 508/11    | 446 | 180    | 75 | 345    | 290 | 3050   |
| 6-85          | 85                | 23715                 | 10672        | 350              | 440 | 540 | 710 | 508/11    | 446 | 210    | 80 | 375    | 290 | 3150   |
| 6-91          | 91                | 25389                 | 11425        | 375              | 490 | 590 | 760 | 559/12.5  | 496 | 195    | 80 | 385    | 320 | 3400   |
| 6-109         | 109               | 30411                 | 13685        | 450              | 505 | 610 | 795 | 559/12.5  | 511 | 215    | 90 | 400    | 320 | 3550   |
| 6-127         | 127               | 35433                 | 15945        | 525              | 560 | 670 | 865 | 610/12.5  | 566 | 255    | 95 | 410    | 340 | 3950   |

SUMBER: Brosur VSL pada lampiran

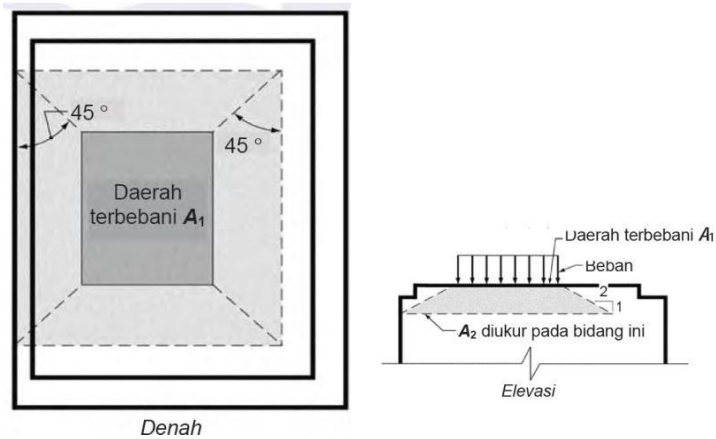
Gambar 4.103 Spesifikasi anker VSL SSI 2000 untuk pylon



Gambar 4.104 Sketsa dimensi anker

Tabel 4.47 Data anker yang digunakan

|          |     |     |     |
|----------|-----|-----|-----|
| Anker    | 12  | 31  | 43  |
| ØB1 (mm) | 230 | 350 | 425 |
| C1 (mm)  | 290 | 440 | 540 |



**Gambar 4.105** Penerapan piramida terpancung untuk mencari  $A_2$  dalam tumpuan berundak atau miring.

Berikut ini adalah contoh perhitungan anker S4 yang memiliki gaya tarik paling besar.

$$\begin{aligned}
 P &= 4944,02 \text{ kN} \\
 h &= 694 \text{ mm} \\
 \text{ØB1} &= 425 \text{ mm} \\
 A_2 &= h \times h \\
 &= 481636 \text{ mm}^2 \\
 C1 &= 540 \text{ mm} \\
 A_1 &= (C1 \cdot C1) - \text{area } \text{ØB1} \\
 &= (540 \cdot 540) - (0,25 \cdot \pi \cdot 425^2) \\
 &= 149737,46 \text{ mm}^2
 \end{aligned}$$

Pemberian gaya tarik dilakukan saat beton berusia 14 hari, dengan kuat tekan beton diperkirakan  $85\% f'_c$

$$\begin{aligned}
 85\% \cdot f'_c &= 85\% \cdot 50 \text{ MPa} \\
 &= 42,5 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$f_{cp} = 85\% \cdot f'_c \cdot \sqrt{\frac{A_2}{A_1} - 0,2}$$

$$\begin{aligned}
 &= 42,5 \cdot \sqrt{\frac{481636}{149737,46}} - 0,2 \\
 &= 73,81 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

Tegangan yang terjadi di bawah pelat anker

$$\begin{aligned}
 f_t &= \frac{P}{A_1} \\
 &= \frac{4944,02 \cdot 10^3}{149737,46} \\
 &= 33,02 \text{ MPa}
 \end{aligned}$$

$$\begin{array}{ll}
 f_t & < & f_{cp} \\
 33,02 \text{ MPa} & < & 73,81 \text{ MPa} \dots (\text{OK})
 \end{array}$$

Untuk perhitungan anker yang lain dapat dilihat pada Tabel 10.14 berikut ini :

**Tabel 4.48** Kontrol tegangan beton pada *pylon* saat *stressing*

| Kabel | Anker    | Force   | $f_{cp}$ | $f_t$ | kontrol            |
|-------|----------|---------|----------|-------|--------------------|
|       | (Strand) | (kN)    | (MPa)    | (MPa) | ( $f_t < f_{cp}$ ) |
| S1    | 12       | 815.71  | 272.74   | 19.17 | [OK]               |
| S2    | 12       | 796.96  | 233.48   | 18.73 | [OK]               |
| S3    | 31       | 3309.64 | 123.98   | 33.98 | [OK]               |
| S4    | 43       | 4944.02 | 73.81    | 33.02 | [OK]               |
| S5    | 43       | 3285.39 | 60.69    | 21.94 | [OK]               |

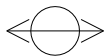
#### 4.9. Desain Perletakkan

Dengan adanya perletakan akan maka gaya dalam yang terjadi pada struktur atas akan disalurkan ke struktur bawah dan perletakan sendiri sebagai penompang jembatan. Berikut ini adalah *layout* dari penempatan perletakan yang digunakan pada Gambar 4.106.



**Gambar 4.106** *Layout* penempatan perletakan

Dimana :

 = *pot bearing unidirectional*

##### 4.9.1. Desain *Pot Bearing*

*Pot bearing unidirectional* merupakan jenis perletakan dimana hanya memungkinkan satu gerakan arah lateral. Berikut ini adalah model penggunaan *unidirectional pot bearing* tipe PU H2 dapat dilihat pada Gambar 4.107.



**Gambar 4.107** Unidirectional pot bearing

Dari hasil analisa MIDAS CIVIL 2011 didapatkan reaksi pada arah  $y$  dengan kombinasi akibat kombinasi kuat 1 konfigurasi 3 (1,1DL+2ADL+2TD+1,8TB+1,8TP) dengan gaya sebagai berikut :

- $V = 4054.81 \text{ kN}$
- $H = 2181.62 \text{ kN}$

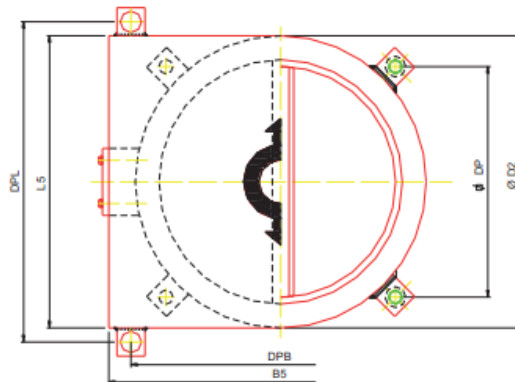
Maka hasil reaksi yang terjadi pada perletakkan *pot bearing*, maka akan direncanakan menggunakan *unidirectional pot bearing* dengan tipe PU 1120/800/H2 EN. Gaya dalam yang dapat diterima oleh *pot bearing* sebagai berikut :

- $V = 11160 \text{ kN}$
- $H = 2400 \text{ kN}$



**Tabel 4.49** Kapasitas *unidirectional pot bearing* dengan tipe PU  
1120/800/H2 EN

| BEARING TYPE       | V MAX ULS<br>(kN) | H MAX ULS<br>(kN) | V MAX SLS<br>(kN) | H MAX SLS<br>(kN) | V min SLS, ULS<br>(kN) | Aprox. Weight<br>(kg) |
|--------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|------------------------|-----------------------|
| PU 100/70/H2 EN    | 977               | 210               | 700               | 140               | 350                    | 40                    |
| PU 200/140/H2 EN   | 1.953             | 420               | 1.400             | 280               | 700                    | 57                    |
| PU 300/220/H2 EN   | 3.069             | 660               | 2.200             | 440               | 1.100                  | 101                   |
| PU 390/280/H2 EN   | 3.906             | 840               | 2.800             | 560               | 1.400                  | 135                   |
| PU 490/350/H2 EN   | 4.883             | 1.050             | 3.500             | 700               | 1.750                  | 172                   |
| PU 630/450/H2 EN   | 6.278             | 1.350             | 4.500             | 900               | 2.250                  | 249                   |
| PU 700/500/H2 EN   | 6.975             | 1.500             | 5.000             | 1.000             | 2.500                  | 320                   |
| PU 840/600/H2 EN   | 8.370             | 1.800             | 6.000             | 1.200             | 3.000                  | 377                   |
| PU 900/650/H2 EN   | 9.068             | 1.950             | 6.500             | 1.300             | 3.250                  | 421                   |
| PU 1000/700/H2 EN  | 9.765             | 2.100             | 7.000             | 1.400             | 3.500                  | 450                   |
| PU 1120/800/H2 EN  | 11.160            | 2.400             | 8.000             | 1.600             | 4.000                  | 515                   |
| PU 1200/850/H2 EN  | 11.858            | 2.550             | 8.500             | 1.700             | 4.250                  | 559                   |
| PU 1320/950/H2 EN  | 13.253            | 2.850             | 9.500             | 1.900             | 4.750                  | 633                   |
| PU 1400/1000/H2 EN | 13.950            | 3.000             | 10.000            | 2.000             | 5.000                  | 670                   |
| PU 1535/1100/H2 EN | 15.345            | 3.300             | 11.000            | 2.200             | 5.500                  | 843                   |
| PU 1700/1200/H2 EN | 16.740            | 3.600             | 12.000            | 2.400             | 6.000                  | 926                   |
| PU 1800/1300/H2 EN | 18.135            | 3.900             | 13.000            | 2.600             | 6.500                  | 1.042                 |
| PU 2000/1400/H2 EN | 19.530            | 4.200             | 14.000            | 2.800             | 7.000                  | 1.150                 |
| PU 2100/1500/H2 EN | 20.925            | 4.500             | 15.000            | 3.000             | 7.500                  | 1.287                 |
| PU 2250/1600/H2 EN | 22.320            | 4.800             | 16.000            | 3.200             | 8.000                  | 1.428                 |
| PU 2400/1700/H2 EN | 23.715            | 5.100             | 17.000            | 3.400             | 8.500                  | 1.559                 |
| PU 2500/1800/H2 EN | 25.110            | 5.400             | 18.000            | 3.600             | 9.000                  | 1.677                 |
| PU 2650/1900/H2 EN | 26.505            | 5.700             | 19.000            | 3.800             | 9.500                  | 1.780                 |
| PU 2800/2000/H2 EN | 27.900            | 6.000             | 20.000            | 4.000             | 10.000                 | 1.913                 |
| PU 3000/2200/H2 EN | 30.690            | 6.600             | 22.000            | 4.400             | 11.000                 | 2.367                 |



**Gambar 4.108** *Pot bearing* tampak atas

#### 4.9.2. Desain *Expansion Joint*

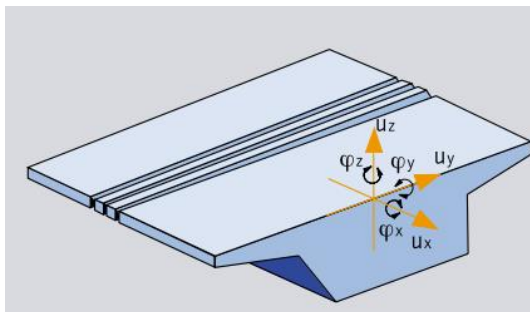
Perencanaan *expansion joint* pada jembatan untuk menanggulangi deformasi yang besar dan kompleks yang diperlukan karena alas geometrik dan biaya. Tipe yang akan digunakan adalah *modular expansion joint*. Modular expansion joint merupakan gabungan dari dua atau lebih strip seal joint untuk deformasi yang besar.

Dari hasil analisa MIDAS CIVIL 2011 didapatkan deformasi arah x dan arah y yang di peroleh dari kombinasi 1 konfigurasi 1 (1,1DL+2ADL+2TD+1,8TB+1,8TP), berikut ini nilai dari deformasi yang terjadi :

- Deformasi x = 241 mm
- Deformasi y = 1,43 mm

Maka hasil reaksi yang terjadi pada perletakkan *expansion joint*, maka akan direncanakan menggunakan *modular expansion joint* dengan tipe DS320. Gaya dalam yang dapat diterima oleh *pot bearing* sebagai berikut :

- $u_x$  = 260 mm
- $u_y$  = 160 mm



**Gambar 4.109** Sketsa arah deformasi

**Tabel 4.50** Kapasitas deformasi *modular expansion joint* dengan tipe DS320

| type  | weight<br>[kg/m] | type   | weight<br>[kg/m] | n  | type   | $u_x$<br>[mm] | $u_y^*)$<br>[mm] | $u_z^*)$<br>[mm] | $\alpha$<br>[°]         | $\Delta\alpha$ | $\beta$<br>[°] |
|-------|------------------|--------|------------------|----|--------|---------------|------------------|------------------|-------------------------|----------------|----------------|
| DS160 | 270              | DS720  | 930              | 2  | DS160  | 130 (160)     | $\pm 80$         | $\pm 10$         |                         |                |                |
| DS240 | 350              | DS800  | 1030             | 3  | DS240  | 195 (240)     | $\pm 120$        | $\pm 15$         |                         |                |                |
| DS320 | 440              | DS880  | 1140             | 4  | DS320  | 260 (320)     | $\pm 160$        | $\pm 20$         |                         |                |                |
| DS400 | 530              | DS960  | 1260             | 5  | DS400  | 325 (400)     | $\pm 200$        | $\pm 25$         |                         |                |                |
| DS480 | 620              | DS1040 | 1380             | 6  | DS480  | 390 (480)     | $\pm 240$        | $\pm 30$         |                         |                |                |
| DS560 | 720              | DS1120 | 1500             | 7  | DS560  | 455 (560)     | $\pm 280$        | $\pm 35$         |                         |                |                |
| DS640 | 820              | DS1200 | 1620             | 8  | DS640  | 520 (640)     | $\pm 320$        | $\pm 40$         | $90^\circ \pm 45^\circ$ | any            | any            |
|       |                  |        |                  | 9  | DS720  | 585 (720)     | $\pm 360$        | $\pm 40$         |                         |                |                |
|       |                  |        |                  | 10 | DS800  | 650 (800)     | $\pm 400$        | $\pm 40$         |                         |                |                |
|       |                  |        |                  | 11 | DS880  | 715 (880)     | $\pm 440$        | $\pm 40$         |                         |                |                |
|       |                  |        |                  | 12 | DS960  | 780 (960)     | $\pm 480$        | $\pm 45$         |                         |                |                |
|       |                  |        |                  | 13 | DS1040 | 845 (1040)    | $\pm 520$        | $\pm 45$         |                         |                |                |
|       |                  |        |                  | 14 | DS1120 | 910 (1120)    | $\pm 560$        | $\pm 45$         |                         |                |                |
|       |                  |        |                  | 15 | DS1200 | 975 (1200)    | $\pm 600$        | $\pm 45$         |                         |                |                |

The given numbers of the weight of joints is only to calculate the size of cranes and lifting devices.

\*) Values apply to standard design, bigger values are possible, too.

#### 4.10. Kontrol Stabilitas Aerodinamis

Aerodinamis akibat angin pada jembatan *cable stayed* perlu dianalisa karena salah satu penyebab terjadinya kegagalan struktur. Analisa stabilitas pada aerodinamis meliputi *vortex-shedding* (tumpahan pusaran angin) dan *flutter* (efek ayunan). Akan tetapi untuk mengetahui efek angin yang bekerja, perlunya analisa tersebut menggunakan model pada terowongan angin.

##### 4.10.1. Frekuensi Alami

Frekuensi alami dihitung dengan frekuensi alami lentur ( $f_B$ ) dan frekuensi alami torsi ( $f_T$ ) yang didekati dengan menggunakan persamaan berikut ini :

$$f_B = \frac{1,1}{2\pi} \left( \frac{g}{v_{maks}} \right)^{1/2} \quad f_T = \frac{\bar{b}}{2 \cdot r} \cdot f_B$$

Dimana :

$f_B$  = frekuensi alami lentur (Hz)

$g$  = percepatan gravitasi ( $m/s^2$ ) =  $9,81 m/s^2$

$v_{maks}$  = deformasi statis maksimum akibat berat sendiri (m)  
=  $0,516 m$  (dari analisa MIDAS CIVIL)

$f_T$  = frekuensi alami torsi (Hz)

$\bar{b}$  = jarak kabel arah melintang (m) =  $8,8 m$

$r$  = jari-jari girasi penampang lantai kendaraan (m) =  $2,21 m$

$$f_B = \frac{1,1}{2\pi} \left( \frac{9,81}{0,516} \right)^{1/2} \quad f_T = \frac{8,8}{2 \cdot 2,21} \cdot 0,763$$

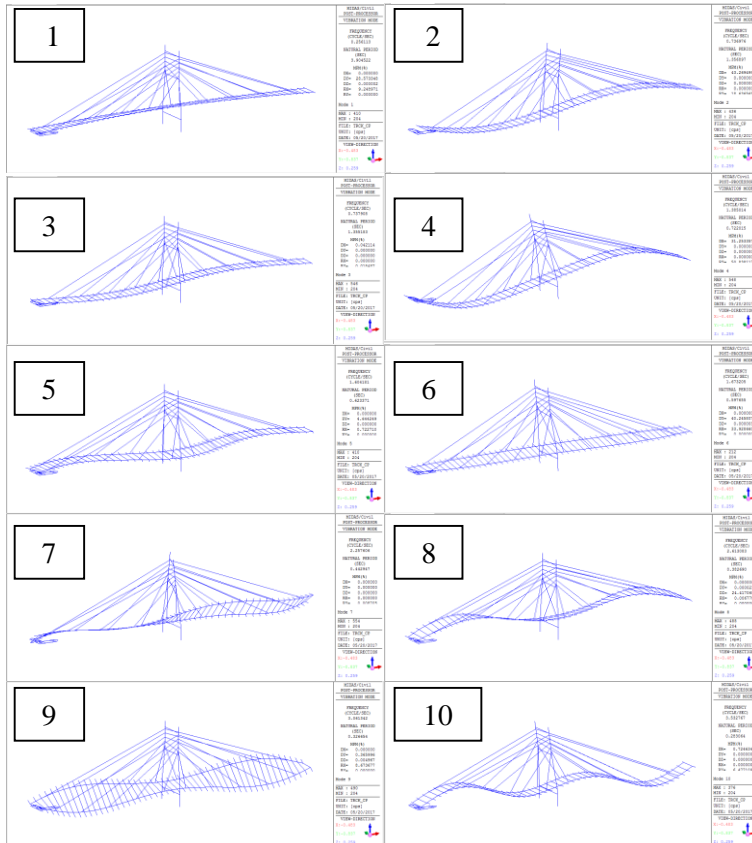
$$f_B = 0,763 \text{ Hz} \quad f_T = 1,52 \text{ Hz}$$

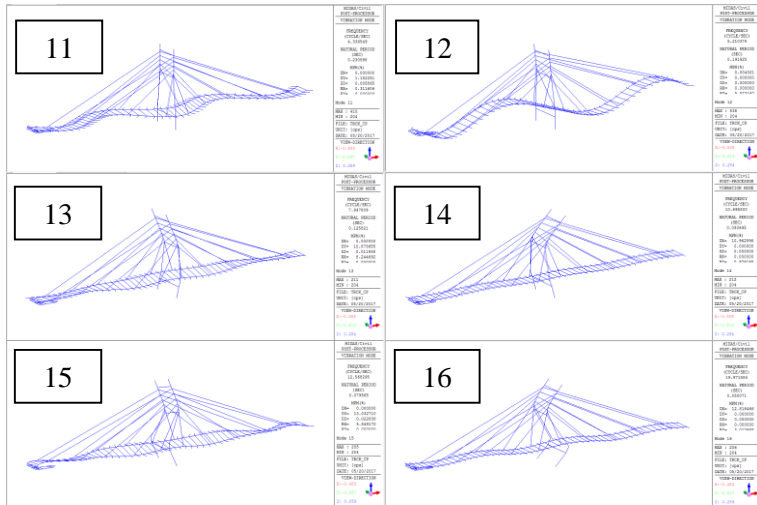
Dari frekuensi alami lentur dan frekuensi alami torsi dimana harus memenuhi persamaan Mathivat sebagai berikut :

$$\frac{f_T}{f_B} \cong 2,5 \rightarrow \frac{f_T}{f_B} = \frac{1,52}{0,763} = 1,992 \dots (\text{oke})$$

Akan tetapi didalam program bantu MIDAS CIVIL terdapat nilai frekuensi alami lentur ( $f_B$ ) dan frekuensi alami torsi ( $f_T$ ) terhadap

struktur dapat dicari dengan menggunakan *modal* tahapan *mode* pada *menu result – vibration mode shapes*. Sebagai berikut perolehan nilai frekuensi alami lentur ( $f_B$ ) dan frekuensi alami torsi ( $f_T$ ) dapat dilihat pada Gambar 4.110:





**Gambar 4.110** Mode 1 - 16 frekuensi lentur ( $f_B$ ) dan frekuensi torsi ( $f_T$ )

Berikut ini adalah rekapitulasi nilai frekuensi lentur dan frekuensi torsi dari analisa menggunakan program bantu MIDAS CIVIL dapat dilihat pada Tabel 4.51 :

**Tabel 4.51** Nilai  $f_B$  dan  $f_T$ 

| Mode | Frekuensi Alami            | Frequency   | Natural Period |
|------|----------------------------|-------------|----------------|
|      |                            | (cycle/sec) | (sec)          |
| 1    | Frekuensi Lentur ( $f_B$ ) | 0.736976    | 1.356897       |
| 2    | Frekuensi Lentur ( $f_B$ ) | 0.737908    | 1.355183       |
| 3    | Frekuensi Lentur ( $f_B$ ) | 1.385014    | 0.722015       |
| 4    | Frekuensi Lentur ( $f_B$ ) | 1.473521    | 0.661429       |
| 5    | Frekuensi Torsi ( $f_T$ )  | 1.604181    | 0.623371       |
| 6    | Frekuensi Torsi ( $f_T$ )  | 1.673205    | 0.597655       |
| 7    | Frekuensi Torsi ( $f_T$ )  | 2.257606    | 0.442947       |
| 8    | Frekuensi Torsi ( $f_T$ )  | 2.613083    | 0.38269        |
| 9    | Frekuensi Torsi ( $f_T$ )  | 3.061342    | 0.326654       |
| 10   | Frekuensi Lentur ( $f_B$ ) | 3.532767    | 0.283064       |
| 11   | Frekuensi Torsi ( $f_T$ )  | 4.336549    | 0.230598       |
| 12   | Frekuensi Lentur ( $f_B$ ) | 5.210378    | 0.191925       |
| 13   | Frekuensi Torsi ( $f_T$ )  | 7.947809    | 0.125821       |
| 14   | Frekuensi Lentur ( $f_B$ ) | 10.6958     | 0.093495       |
| 15   | Frekuensi Torsi ( $f_T$ )  | 12.568295   | 0.079565       |
| 16   | Frekuensi Lentur ( $f_B$ ) | 19.971584   | 0.050071       |

#### 4.10.2. Efek vortex-shedding

Pada kecepatan angin tertentu akan terjadi pusaran angin (*Vortex-Shedding*). Untuk memperoleh kecepatan angin yang mengakibatkan pusaran angin dapat dihitung menggunakan angka *Strouhal* ( $S$ ) dengan persamaan sebagai berikut :

$$S = \frac{f_B \cdot h}{V}$$

Dimana :

$S$  = angka *Strouhal*

$V$  = kecepatan angin yang dihitung berdasarkan angka *Strouhal* (m/s)

$h$  = tinggi lantai kendaraan (m) = 1,8m

$f_B$  = frekwensi alami lentur (Hz)

Kecepatan angin (V) dicari dengan menggunakan persamaan angka *Strouhal*. Dipakai angka *Strouhal* (S) = 0,2, tinggi lantai kendaraan (h) = 1,8 m

$$\begin{aligned} V &= \frac{f_B \cdot h}{S} \\ &= \frac{0,763 \cdot 1,8}{0,2} \\ &= 6,87 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Kemudian dilakukan pengecekan dengan menggunakan persamaan angka Reynold sebagai berikut :

$$Re = \frac{V \cdot B}{\nu}$$

Dimana :

Re = angka *Reynold*, bekisar antara  $10^5$  sampai  $10^7$

V = kecepatan angin yang dihitung berdasarkan angka *Strouhal*

B = lebar lantai kendaraan (12,4 m)

$\nu$  = viskositas kinematik udara ( $0,15 \text{ cm}^2/\text{dt}$ )

$$\begin{aligned} Re &= \frac{6,87 \cdot 13,6}{0,15 \cdot 10^{-4}} \\ &= 6,23 \cdot 10^6 \quad (10^5 < Re < 10^7) \end{aligned}$$

Dengan adanya terpaan angin yang mengakibatkan gaya angkat (*uplift*) maka gaya angkat (*uplift*) tersebut dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$Fo = \rho \frac{V^2}{2} C_h$$

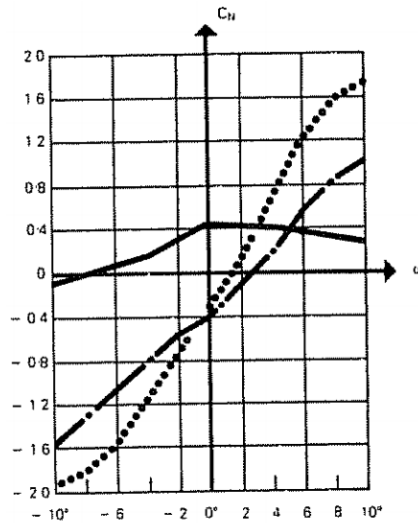
Dimana :

Fo = gaya angkat

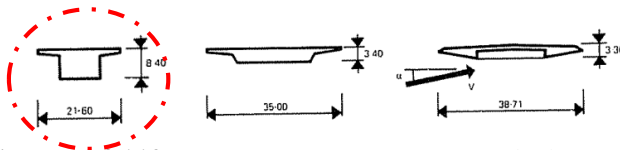


- $C$  = koefisien gaya angkat lantai kendaraan  
 $\rho$  = berat volume udara ( $1,3 \text{ kg/m}^3$ )  
 $V$  = kecepatan angin yang dihitung berdasarkan angka *Strouhal*  
 $h$  = tinggi lantai kendaraan

Besarnya nilai koefisien  $C$  didapat dari grafik pada Gambar 4.111 dan Gambar 4.112:



**Gambar 4.111** Koefisien  $C_N$



**Gambar 4.112** Macam-macam penampang *deck*

Grafik koefisien  $C_N$  diatas adalah hasil percobaan dari bentuk penampang lantai kendaraan yang sudah didirikan. Dari beberapa macam bentuk penampang kendaraan, penampang yang

ditandai yang cukup mendekati penampang desain. Dengan diambil nilai  $\alpha$  diambil  $0^\circ$  dengan nilai koefisien  $C_N$  sebesar 0,4.

$$\begin{aligned} F_o &= 1,3 \cdot 10 \cdot \frac{6,87^2}{2} \cdot 0,4 \cdot 1,8 \\ &= 220,89 \text{ N/m} \end{aligned}$$

Dari gaya ini akan menimbulkan osilasi gelagar yang amplitudonya dapat dihitung sebagai berikut :

$$\hat{v} = \frac{\pi}{\delta} \cdot \frac{F_o}{m} \cdot v_{\max}$$

Dimana :

$\hat{v}$  = amplitudo osilasi

$\delta$  = penurunan logaritmik (koefisien peredaman)

$F_o$  = gaya angkat

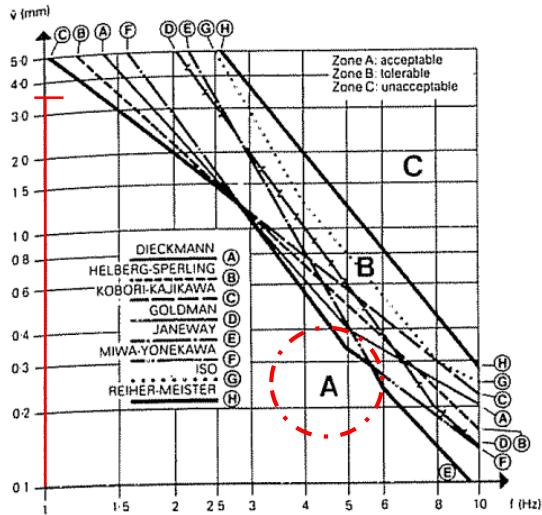
$v_{\max}$  = deformasi statis maksimum karena berat sendiri

$m$  = berat sendiri lantai kendaraan per meter panjang

Dari hasil analisa program MIDAS CIVIL diperoleh nilai  $v_{\max}$  akibat berat sendiri sebesar 0,516 m dimana berat sendiri lantai kendaraan adalah 98,47 kN/m. Penurunan logitmatik (koefisien peredaman) ditentukan sebesar 0,05.

$$\begin{aligned} \hat{v} &= \frac{\pi}{0,05} \cdot \frac{220,89}{98,47 \cdot 10^3} \cdot 0,516 \\ &= 0,03636 \text{ m} = 36,36 \text{ mm} \end{aligned}$$

Besarnya amplitudo getaran adalah 36,36 mm dengan deformasi sebesar 0,763 Hz masuk dalam kategori zona A yang diterima (*acceptabel*). Hal ini dapat dilihat pada grafik pada Gambar 4.113 sebagai berikut ini :

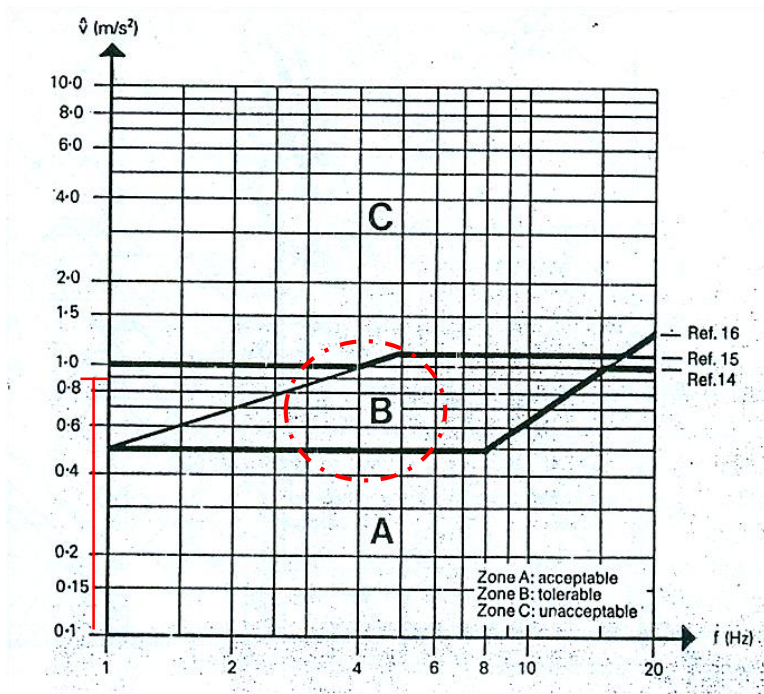


**Gambar 4.113** Klasifikasi efek psikologis berdasarkan amplitudo (Walther, 1999)

Perhitungan tersebut dapat dilanjutkan dengan mencari nilai percepatan getaran yang dihasilkan dari persamaan berikut ini :

$$\begin{aligned}
 \hat{v} &= 4 \cdot \pi^2 \cdot f^2 \cdot \hat{v} \\
 &= 4 \cdot \pi^2 \cdot 0,763^2 \cdot 0,03636 \\
 &= 0,837 \text{ m/s}^2
 \end{aligned}$$

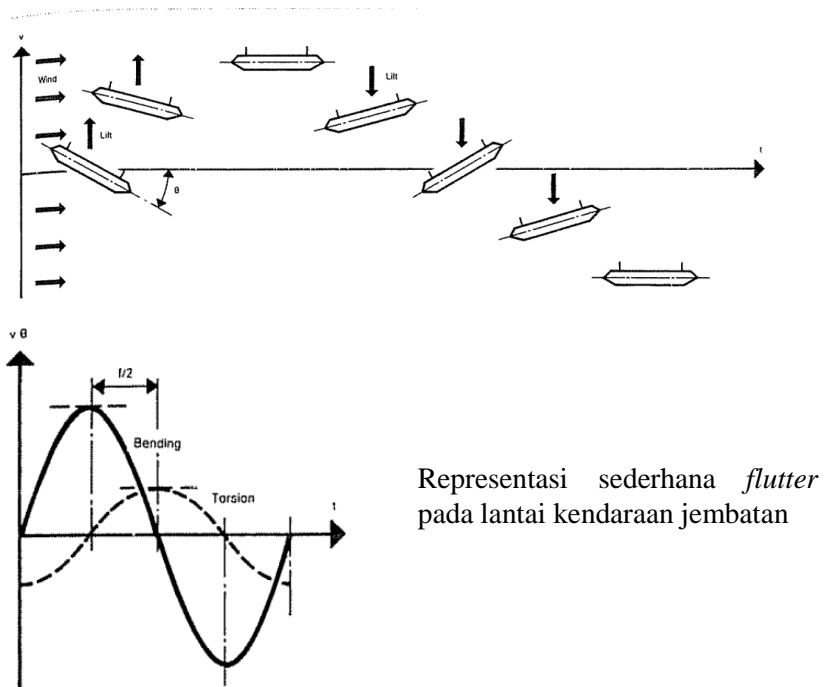
Percepatan getaran diperoleh sebesar  $0,837 \text{ m/s}^2$  dengan frekuensi sebesar  $0,763 \text{ Hz}$  termasuk zona B yang ditoleransi (*tolerable*). Hal ini dapat dilihat dari grafik berikut ini :



**Gambar 4.114** Klasifikasi efek psikologis berdasarkan percepatan getaran (Walther, 1999)

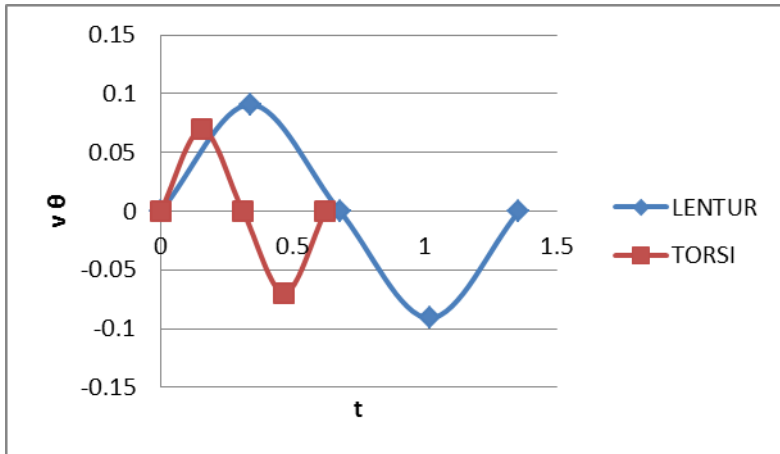
#### 4.10.3. Efek *Flutter* (Ayunan)

Kecepatan angin tertentu yang disebut kecepatan kritis yang mengakibatkan suatu efek ayunan. Fenomena efek ayunan ini berdampak terjadinya ayunan lentur dan ayunan torsi dimana keduanya memiliki perbedaan fase sebesar  $\pi/2$ . Apabila ayunan lentur dan ayunan torsi terjadi bersamaan meski kecepatan kritis tetap dan akan menyebabkan runtuhnya struktur. Berikut ini ilustrasi pada Gambar 4.115.



**Gambar 4.115** Efek ayunan dengan beda fase  $\pi/2$   
(Walther, 1999)

Dari hasil MIDAS CIVIL, di dapatkan efek *flutter* yang dimana menggunakan perbandingan *displacement* dan rotasi dengan periode pada *mode* pertama untuk frekuensi alami lentur ( $f_B$ ) dan frekuensi alami lentur ( $f_T$ ). Berikut ini efek *flutter* dari hasil MIDAS CIVIL dapat dilihat pada Gambar 4.116.



**Gambar 4.116** Efek *flutter* pada *mode* pertama

Untuk mendapatkan kecepatan kritis teoritis, dapat digunakan metode Klöppel, dengan persamaan sebagai berikut :

$$V_{\text{kritis teoritis}} = 2 \cdot \pi \cdot f_B \cdot b$$

$$b = \frac{1}{2} \text{ lebar lantai kendaraan}$$

Dimana nilai  $V_{\text{kritis teoritis}}$  didapatkan menggunakan grafik pada Gambar 8.13 dan dilihat dari hasil dari tiga (3) besaran berikut ini:

$$(1) \quad \mu = \frac{m}{\pi \cdot \rho \cdot b^2}$$

Dimana :

$\rho$  = Berat volume udara ( $1,3 \text{ kg/m}^3$ )

$m$  = Berat sendiri lantai kendaraan per meter lari  
( $98470 \text{ N/m}$ )

$b$  = setengah lebar lantai kendaraan ( $13,6 \cdot 0,5 = 6,8 \text{ m}$ )

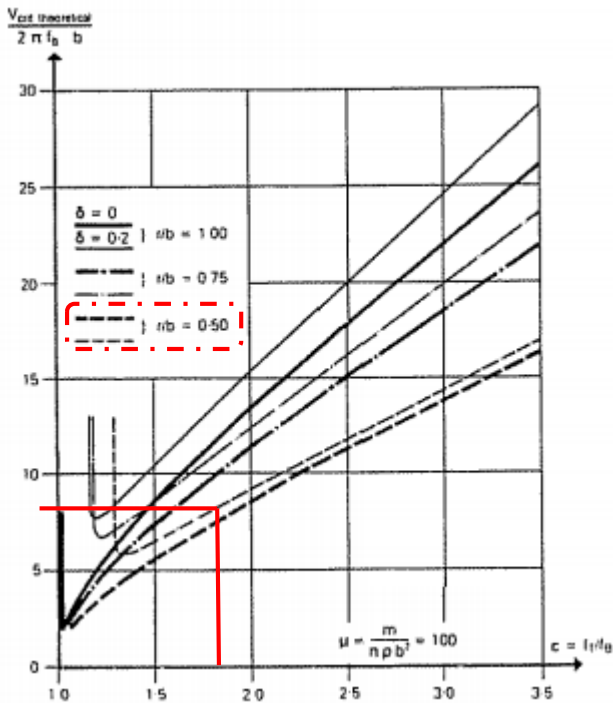
$$\mu = \frac{98470}{\pi \cdot 13,6 \cdot 8^2} = 61,724$$

$$(2) \quad \varepsilon = \frac{f_T}{f_B} = \frac{1,52}{0,763} = 1,992$$

$$(3) \quad \frac{r}{b} = \frac{2,21}{6,8} = 0,32$$

$\delta = 0,05$  (penurunan logaritmatik atau koefisien peredam)

Dari hasil tiga (3) besaran di atas maka akan diplotkan pada Gambar 4.117 akan mendapatkan faktor pengali untuk mnilai kecepatan kritis teoritis.

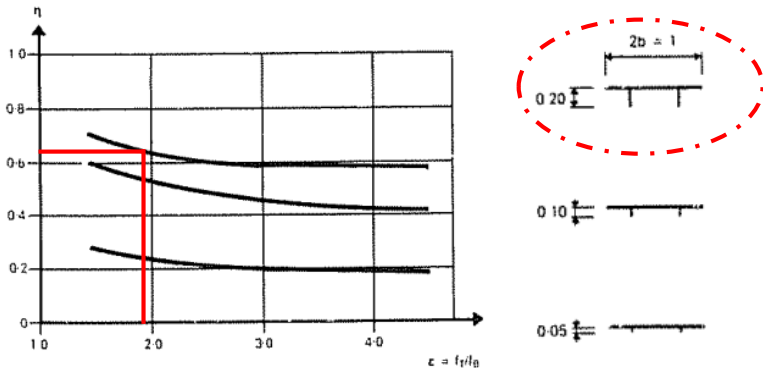


**Gambar 4.117** Kecepatan kritis teoritis untuk *flutter* (Walther, 1999)

$$\frac{V_{\text{kritis-teoritis}}}{2 \cdot \pi \cdot f_B \cdot b} = 8,3 \dots \text{(dari Gambar 8.13)}$$

$$\begin{aligned} V_{\text{kritis teoritis}} &= 8,3 \cdot (2 \cdot \pi \cdot f_B \cdot b) \\ &= 8,3 \cdot (2 \cdot \pi \cdot 0,763 \cdot 6,8) \\ &= 270,7 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Besar kecepatan kritis teoritis ini harus dikoreksi menjadi kecepatan kritis actual, menggunakan grafik berikut, lihat Gambar 4.118.



**Gambar 4.118** Grafik koefisien koreksi  
(Walther, 1999)

Dari grafik diatas, dengan menyesuaikan bentuk penampang yang paling mendekati didapat nilai  $\eta = 0,66$ .

$$\begin{aligned} V_{\text{kritis aktual}} &= 0,66 \cdot V_{\text{kritis teoritis}} \\ &= 0,66 \cdot 270,7 \text{ m/s} \\ &= 178,662 \text{ m/s} \end{aligned}$$

Pada kondisi yang sebenarnya, angin tidak selalu mengenai lantai kendaraan dalam arah horizontal secara sempurna dengan nilai  $\alpha = 0^\circ$ . Terkadang nilai  $\alpha$  dapat berubah sekitar  $3^\circ$  sampai dengan  $9^\circ$ , maka sebagai pembanding dicoba menggunakan nilai  $\alpha$  rata-



rata sebesar  $6^\circ$ . untuk jenis kendaraan penampang box, perlu koreksi sebesar  $1/3$  (Walther, 1999).

$$\begin{aligned}\eta (\alpha = \pm 6^\circ) &= (1/3).0,6 \\ &= 0,2\end{aligned}$$

Sehingga kecepatan kritis aktual :

$$\begin{aligned}V_{\text{kritis aktual}} &= 0,2. 270,7 \text{ m/s} \\ &= 54,14 \text{ m/s}\end{aligned}$$

$$\begin{array}{ll} V_{\text{desain}} & < & V_{\text{kritis aktual}} \\ 47,889 \text{ m/s} & < & 54,14 \text{ m/s} \dots (\text{OK}) \end{array}$$

Hal ini menunjukkan bahwa, apabila pada kondisi nyata dilapangan bertiup angin dengan kecepatan 54,14 m/s, maka akan muncul efek ayunan (*flutter*). Maka dari itu kecepatan angin di lapangan tidak boleh lebih dari itu, sedangkan pada perencanaan telah didesain besarnya kecepatan angin 47,889 m/s. Sehingga analisa efek ayunan memenuhi. Analisa ini perlu dilanjutkan dengan pembuktian menggunakan model pada terowongan angin, agar diperoleh hasil yang akurat.

## BAB V PENUTUP

### 5.1. Kesimpulan

Dari hasil analisa dan kontrol yang telah dilakukan dalam mendesain jembatan cable stayed dengan *orthotropic deck*, maka dapat diringkaskan hasil tugas akhir yang disajikan sebagai berikut :

1. Jembatan yang memiliki panjang total 175 m yang dimana *pylon* berada di tengah bentang dengan lebar jembatan 12,4 m.
2. Tiang sandaran menggunakan profil baja WF 100.50.5.7 dengan ketinggian 1,3 m, sedangkan pipa sandaran berupa profil *hollow* dengan dimensi diameter 2" atau 60,5 mm.
3. Pelat lantai kendaraan yang berupa pelat baja atau *orthotropic deck* dengan rusuk terbuka (*open ribs*) dengan ketebalan pelat baja 1,5 cm. Rusuk (*ribs*) berupa profil T 175.175.7.11 dengan jarak antar rusuk 40 cm dimana sambungan rusuk dengan gelagar melintang berupa las dengan ketebalan  $a = 2$  mm sedangkan untuk sambungan rusuk dengan pelat lantai kendaraan berupa sambungan baut dengan diameter baut  $\varnothing 19$ .
4. Gelagar melintang berupa profil T 700.300.18.34. Sambungan gelagar melintang dengan gelagar utama atau *box girder* berupa las dengan ketebalan  $a = 6$  mm dan sambungan gelagar melintang dengan gelagar melintang dengan jarak 1100 mm berupa sambungan baut dengan diameter  $\varnothing 24$ . Gelagar kantilever yang berupa profil T 400.200.8.13. Sambungan gelagar kantilever dengan gelagar utama berupa sambungan las dengan ketebalan  $a = 5$  mm dan sambungan gelagar kantilever dan gelagar kantilever dengan jarak 700 mm berupa sambungan baut dengan diameter  $\varnothing 16$ .
5. Analisa metode pelaksanaan atau *staging analysis* menggunakan program MIDAS CIVIL berupa *balanced cantilever* dengan menggunakan *form traveler* untuk menaikkan lantai kendaraan. *Staging analysis* menggunakan metode *backward solution*.

6. Gelagar utama berupa rectangular twin box girder 1800.1200.50.50 dengan pengaku 150.18. Sambungan antar gelagar utama menggunakan sambungan baut dengan diameter  $\varnothing 32$  pada sekeliling gelagar utama.
7. Stabilitas aerodinamis jembatan menunjukan frekuensi alami lentur ( $f_B$ ) = 0,763 Hz dan torsi ( $f_T$ ) = 1,52 Hz; efek *vortex-shedding* masuk kategori dalam zona A (*acceptable*) pada grafik klasifikasi efek psikologis berdasarkan *amplitude* (Gambar 8.10) dan zona B (*tolerable*) pada grafik klasifikasi efek psikologis berdasarkan percepatan (Gambar 8.11) dan hasil grafik yang diperoleh untuk efek *flutter* (Gambar 8.13) sesuai dengan grafik dari efek ayunan dengan beda fase  $\pi/2$  (Gambar 8.12). efek *flutter* yang menghasilkan  $V_{kritis\ aktual} = 54,14 \text{ m/dt} > V_{rencana} = 47,889 \text{ m/dt}$  yang artinya tidak terjadi efek *flutter*.
8. Kabel menggunakan *VSL SSI 2000 7-wire strand*, tipe ASTM A 416-05 Grade 270 dengan jumlah *strand* bervariasi mulai dari 12,31 dan 43 untaian *strand*.
9. Anker pada *deck* dan *pylon* menggunakan tipe *DRT stay cable system SSI 2000*
10. Struktur *pylon* terdiri dari beberapa bagian antara lain :
  - *Section A-A* berupa kolom *pylon* 2,5 x 4 m dengan tulangan terpasang 157D36 (2,11%) dengan tulangan sengkang 2D22-200 untuk arah y dan arah z, sedangkan tulangan puntir 48D36 yang terbagi merata pada sisi kolom.
  - *Section B-B* berupa balok pengaku 2,5 x 2 m yang berada di bawah. Dipasang tulangan 160D22 (1,70%) dengan tulangan geser 2D16-150 untuk arah y dan arah z.
  - *Section C-C* berupa balok pengaku 1,5 x 1,2 m yang berada di atas. Dipasang tulangan 74D22 (1,56%) dengan tulangan geser 2D16-150 untuk arah y dan arah z.

## 5.2. Saran

Dari hasil pengerjaan aporan tugas akhir ini msih terdapat kekurangan, maka dari itu untuk hasil yang lebih baik lagi perlu adanya hal hal yang harus diperhatikan saat merencanakan desain yang sejenis menjadi lebih baik, antara lain sebagai berikut ini:

- 1) Agar ketelitian dalam desain lebih baik dari desain ini, kedepannya perlu untuk meninjau atau menambahkan konfigurasi pembebanan (berupa beban statik) untuk mengantisipasi mendapatkan keadaan yang paling kritis sehingga desain bisa lebih aman saat konfigurasi tersebut.
- 2) Untuk menentukan distribusi pembebanan pada saat *staging analysis* tepatnya saat pembebanan *form traveler* terhadap lantai kendaraan supaya ditinjau kembali agar dapat mendekati kondisi yang sebenarnya saat pelaksanaan terjadi. Beban yang digunakan adalah beban mati, beban form traveler dan *deck* yang diangkat, serta beban angin.
- 3) Untuk desain dalam analisa aerodinamis yang diakibatkan oleh beban angin selain dilakukan kontrol menggunakan rumus empiris juga perlu dimodelkan pada terowongan angin. Maksud tersebut untuk bertujuan desain y akurat. Selain itu lebar jembatan sangat menentukan karena saat terjadinya jembatan Tacoma salah satu penyebab runtuhnya ialah lebar kendaraan yang tidak proposional dengan panjang jembatan sendiri.

*“Halaman ini Sengaja Dikosongkan”*

## DAFTAR PUSTAKA

Troitsky, M.S. 1977. *Cable Stayed Bridges: Theory and Design*. Crosby Lockwood Staples, London

Juvani, Jani, and Olli Lipponen. 2012. “*Cable Stayed Bridge*”. Aalto University 7 (November).

O'Connor, C. 1971. *Design of Bridge Superstructure*. Wiley-Interscience.

<https://fadlysutrisno.wordpress.com/2010/07/17/jembatan-cable-stayed/>

Zadeh, Sarhang Olfat. 2012. *Comparison Between Three Types of Cable Stayed Bridges Using Structural Optimization*. The University of Western Ontario.

Walther, R. , Houriet, Isler, Moia, Klein. 1999. *Cable Stayed Bridge Second Edition*. London, Thomas Telford Publishing.

Parke, Gerard, and Nigel Hewson. 2008. *ICE Manual of Bridge Engineering Second Edition*. London, Thomas Telford Ltd

[http://www.academia.edu/11194642/BAB\\_II\\_Desain\\_Cable\\_Stayed](http://www.academia.edu/11194642/BAB_II_Desain_Cable_Stayed)

- Standar Nasional Indonesia. *Pembebanan untuk Jembatan*. SNI 1725:2016. Departemen PU Dirjen Bina Marga
- Gimsing, Neils J. . 1983. *Cable Suported Bridge Concept and Design*. Denmark, John Wiley and Sons Ltd.
- Troitsky, M.S. .1988. *Cable-stayed Bridge Theory and Design*. London, BSp Professional Books.
- Gimsing, Neils J. , and Christos T. Georgakis. 2012. *Cable Suported Bridge Concept and Design Third Edition*. Denmark, John Wiley and Sons Ltd.
- .Standar Nasional Indonesia. *Standar Pembebanan untuk Jembatan*. RSNI T-02-2005. Deartemen PU Dirjen Bina Marga.
- Henis, C. P., D. A. Firmage. 2000. *Design of Modern Steel Highway Bridges*. New York, John Wiley and Sons Ltd.
- Nugroho, Gary. 2015. “Desain Struktur Jembatan *Semi-Harp Pattern Cable Stayed* Bedadung-Jember dengan *Double Planes System* Menggunakan Dek Baja”. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Prasetya, Dwi. 2011. “Modifikasi Perencanaan Bentang Tengah Jembatan Suramadu Dengan Dua Lantai Kendaraan Untuk Jalan Kendaraan Bermotor Dan Jalan Rel”. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

- Wijayakusuma, Akhdiat Fajar. 2010. “Perencanaan Struktur Jembatan *Asymmetrical Cable-Stayed* Ngrame II Mojokerto Dengan *Two Vertical Planes System*”. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Nugraha, Rizky. 2017. “Desain Alternatif Jembatan Musi III Menggunakan Sistem *Multi-Span Cable-Stayed* Dengan *Fishbone Model*”. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- Standar Nasional Indonesia. Perencanaan Struktur Baja untuk Jembatan. RSNI T-03-2005. Departemen PU Dirjen Bina Marga.
- Surat Ederan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. Pemanduan Perencanaan Teknis Jembatan Beruji Kabel. 08/SE/M/2015. Departemen PU Dirjen Bina Marga.
- Standar Nasional Indonesia. Tata Cara Pelaksanaan Struktur Baja Untuk Bangunan Gedung. SNI03- 1729-2002. Departemen Pekerjaan Umum.
- Standar Nasional Indonesia. Spesifikasi Untuk Bangunan Gedung Baja Struktural. SNI 1729-2015. Badan Standarisasi Nasional.
- Standar Nasional Indonesia. Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung. SNI 2847-2013. Badan Standarisasi Nasional.



*“ Halaman ini Sengaja Dikosongkan ”*

## BIODATA PENULIS

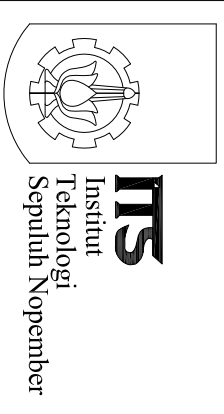


Penulis yang memiliki nama lengkap Rizal Nur Syamsu, dilahirkan di Surabaya, 5 November 1992, merupakan anak ketiga dari tiga bersaudara. ini telah menempuh pendidikan formal yaitu di SDN Kedurus VI 433 Surabaya, SMPN 16 Surabaya, SMAN 13 Surabaya dan Program Studi DIII Teknik Sipil FTSP-ITS Surabaya bidang konsentrasi Bangunan Gedung yang ditempuh selama 3 tahun dan lulus pada tahun 2014. Setelah lulus dari DIII Teknik Sipil FTSP-ITS Surabaya penulis melanjutkan pendidikan Sarjana di Program Studi Lintas Jalur Teknik Sipil FTSP-ITS pada tahun 2014 dan terdaftar dengan NRP 3114 105 039. Apabila ada yang ingin ditanyakan terkait tugas akhir ini dapat menghubungi penulis pada alamat email berikut [rizalsyams33@gmail.com](mailto:rizalsyams33@gmail.com).

*“Halaman ini Sengaja Dikosongkan”*

## **LAMPIRAN**

# GAMBAR RENCANA



## DESAIN STRUKTUR JEMBATAN TRUCUK KABUPATEN BOJONEGORO DENGAN MENGGUNAKAN METODE *SEMI-HARP PATTERN CABLE STAYED*

OLEH :

RIZAL NUR SYAMSU  
3114105038

DOSEN PEMBIMBING I :

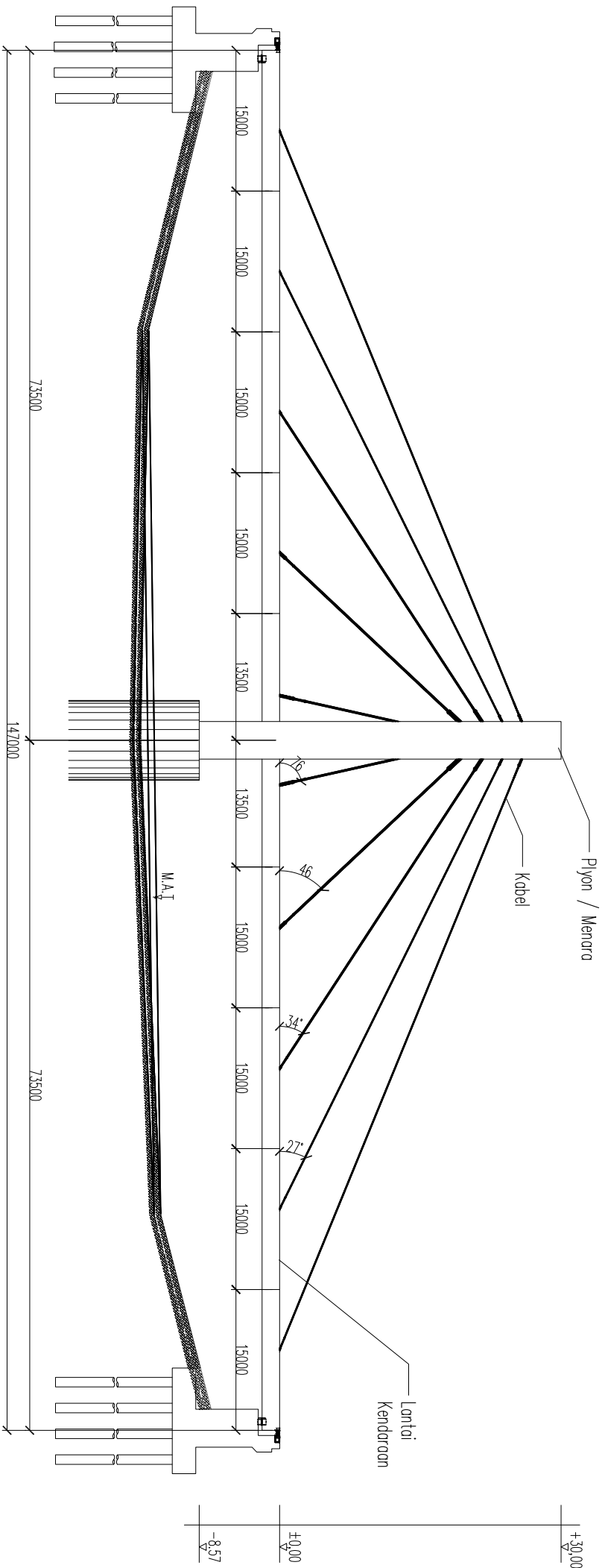
Prof. TAVIO, ST, MT, Ph.D  
NIP. 197003271997021001

DOSEN PEMBIMBING II :

Dr. Ir. HIDAYAT S. M., MS  
NIP. 195503251980031004

JURUSAN LINTAS JALUR S1 TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN DESAIN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA

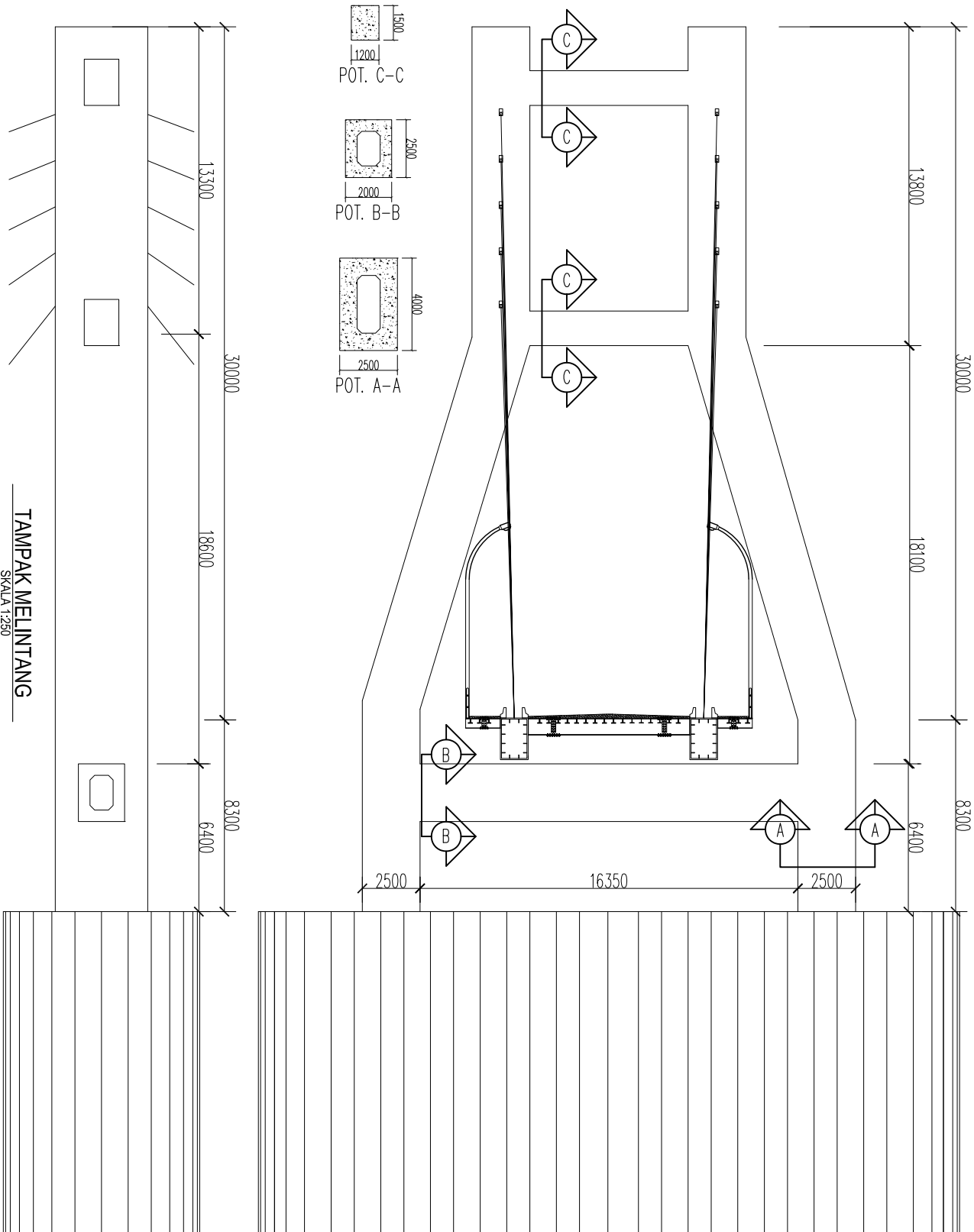
2017



TAMPAK MEMANJANG

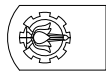
SKALA 1:600

|   |  |                   |  |              |  |  |  |  |  |           |  |        |  |
|---|--|-------------------|--|--------------|--|--|--|--|--|-----------|--|--------|--|
| <br><b>ITS</b><br>Institut Teknologi<br>Sepuluh Nopember |  | JUDUL TUGAS AKHIR |  | JUDUL GAMBAR |  | SKALA  |  | DIGAMBAR   |  | DIPERIKSA |  | REVISI |  |
| DESAIN STRUKTUR JEMBATAN TRUCUK<br>KABUPATEN BOJONEGORO DENGAN<br>MENGUNAKAN METODE SEMI-HARP PATTERN<br>CABLE STAYED                     |  | TAMPAK MEMANJANG  |  | 1 : 600      |  | MAHASISWA :<br>RIZAL NUR SYAMSU<br>NRP. 3114105038 |  | DOSEN PEMBIMBING :<br>Prof. J. YANO, ST, MT, Ph.D<br>NIP. 1970327197021001<br>Dr. Ir. HENDAYAT S. A. MS<br>NIP. 1950325198031004 |  |           |  |        |  |
|   |  | KODE GBR          |  | NO. GBR      |  | Jumlah LBR   |  |  |  |           |  |        |  |
|   |  | STR               |  | 01           |  | 43   |  |  |  |           |  |        |  |
|   |  |                   |  |              |  |  |  |  |  |           |  |        |  |



TAMPAK MELINTANG

SKALA 1:250



ITS  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

JUDUL TUGAS AKHIR

DESAIN STRUKTUR JEMBATAN TRUCUK  
KABUPATEN BOJONEGORO DENGAN  
MENGUNAKAN METODE SEMI-HARP PATTERN  
CABLE STAYED

JUDUL GAMBAR

TAMPAK MELINTANG

SKALA

1 : 250

DIGAMBAR

MAHASISWA :  
RIZAL NUR SYAMSU  
NRP. 3114105038

DIPERIKSA

DOSIRN PEMBIMBING :  
Prof. JAWID, ST, MT, Ph.D  
NIP. 1970327197021001  
Dr. Ir. HENDAYAT S. A., MS  
NIP. 1955022198031004

REVISI

KODE GBR

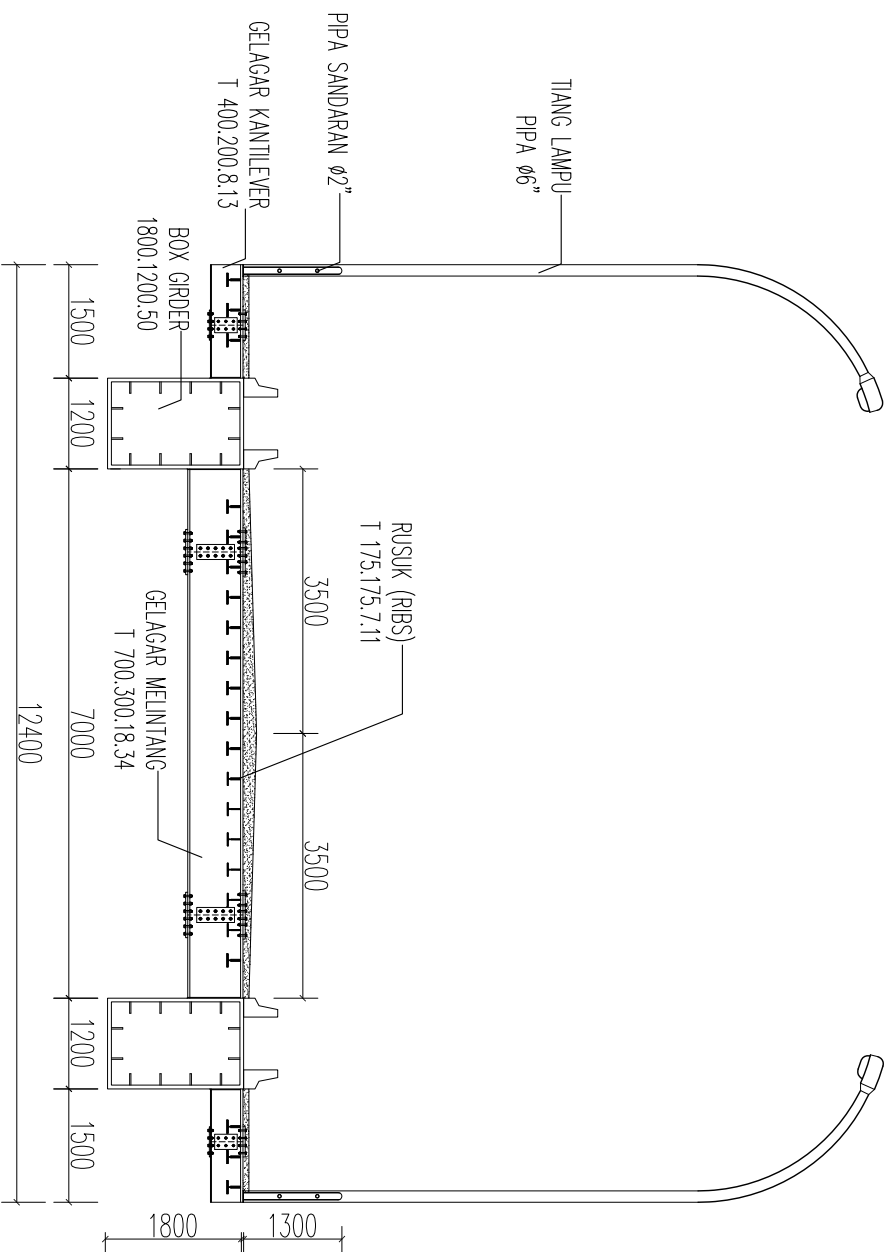
STR

NO. GBR

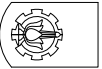
02

JUMLAH LBR

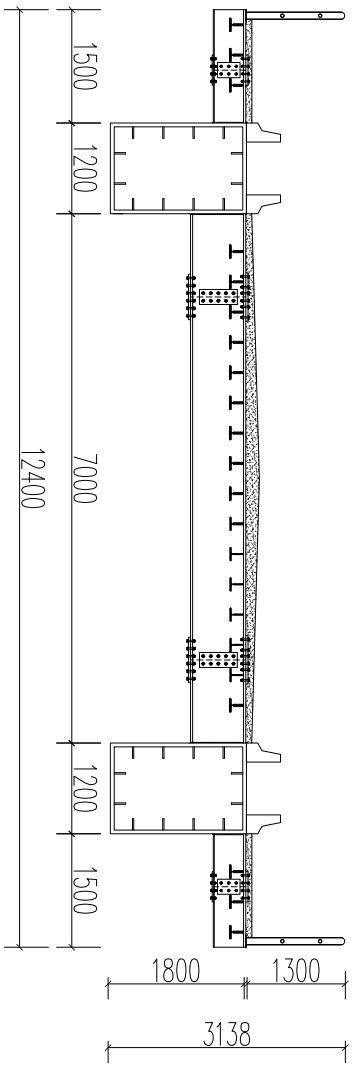
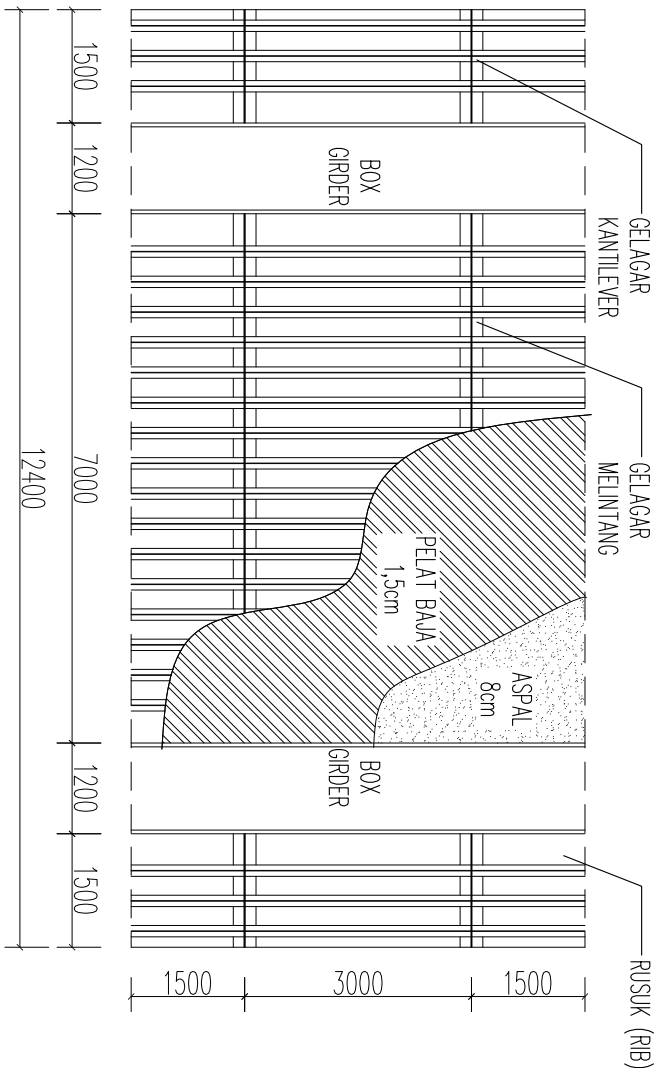
43



**LANTAI KENDARAAN**  
SKALA 1:100

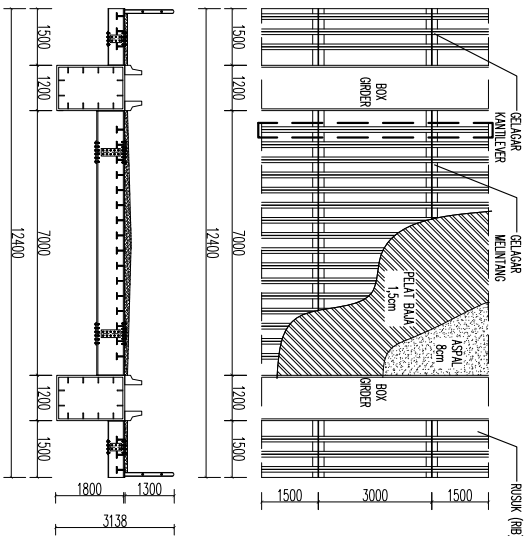
|   |   |                  |         |  |   |          |         |            |
|---|---|------------------|---------|--|---|----------|---------|------------|
| <br><b>ITS</b><br>Institut Teknologi Sepuluh Nopember | JUDUL TUGAS AKHIR   | JUDUL GAMBAR     | SKALA   | DIGAMBAR   | DIPERIKSA   | REVISI   |         |            |
|   | DESAIN STRUKTUR JEMBATAN TRUCUK KABUPATEN BOJONEGORO DENGAN MENGGUNAKAN METODE SEMI-HARP PATTERN CABLE STAYED | LANTAI KENDARAAN | 1 : 100 | MAHASISWA :<br>RIZAL NUR SYAMSU<br>NRP. 3114105038 | DOSIRN PEMBIMBING :<br>Prof. JAYO, ST, MT, Ph.D<br>NIP. 1970327197021001<br>Dr. Ir. HENDAYAT S. A., MS<br>NIP. 1955022198031004 |          |         |            |
|   |   |                  |         |  |   | KODE GBR | NO. GBR | JUMLAH LBR |
|   |   |                  |         |  |   | STR      | 03      | 43         |



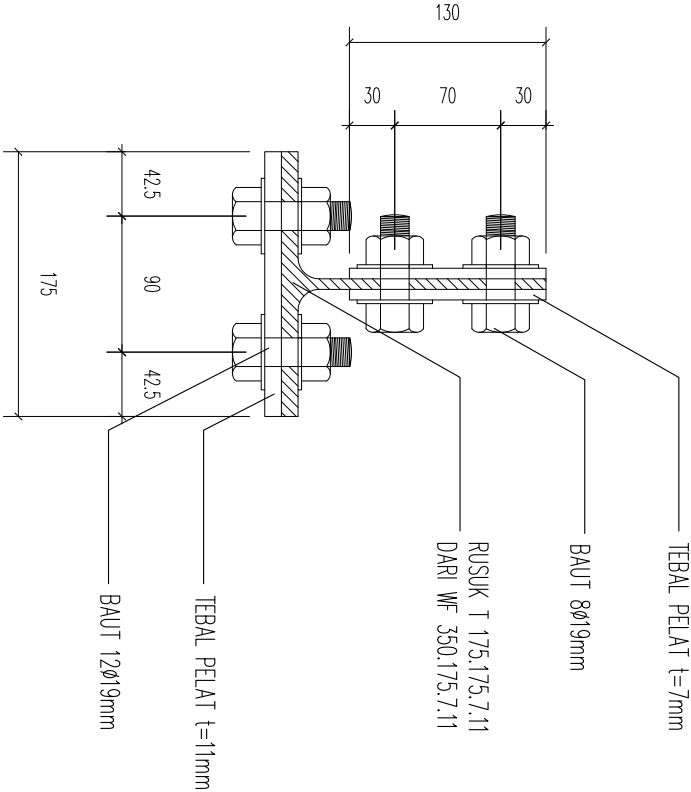


SEGMENT KENDARAAN  
SKALA 1:100

|  |  |                          |  |         |  |   |            |  |  |
|--|--|--------------------------|--|---------|--|---|------------|--|--|
| JUDUL TUGAS AKHIR  |  | JUDUL GAMBAR             |  | SKALA   | DIGAMBAR   | DIPERIKSA   | REVISI     |  |  |
| DESAIN STRUKTUR JEMBATAN TRUK<br>KABUPATEN BOJONEGORO DENGAN<br>MENGGUNAKAN METODE SEMI-HARP PATTERN<br>CABLE STAYED |  | SEGMENT LANTAI KENDARAAN |  | 1 : 100 | MAHASISWA :<br>RIZAL NUR SYAMSU<br>NRP. 3114105038 | DOSIR PEMBIMBING :<br>Prof. DR. IRENEA S. A. A. S.<br>NIP. 197003271997021001 | KODE GBR   |  |  |
|  |  |                          |  |         |  |   | STR        |  |  |
|  |  |                          |  |         |  |   | NO. GBR    |  |  |
|  |  |                          |  |         |  |   | Jumlah LBR |  |  |
|  |  |                          |  |         |  |   | 43         |  |  |



# KEYPLAN



# POTONGAN D-D

SKALA 1:5



ITS  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

JUDUL TUGAS AKHIR

DESAIN STRUKTUR JEMBATAN TRUKUK  
KABUPATEN BOJONEGORO DENGAN  
MENGUNAKAN METODE SEMI-HARP PATTERN  
CABLE STAYED

JUDUL GAMBAR

SAMBUNGAN RUSUK  
SAMBUNGAN LAS RUSUK  
POTONGAN A-A

SKALA

1 : 10  
1 : 10  
1 : 10

DIGAMBAR

MAHASISWA :  
RIZAL NUR SYAMSU  
NRP. 3114105038

DIPERIKSA

DOSIR PEMBIMBING :  
Prof. TAVIO, ST, MT, Ph.D  
NRP. 1970327197021007  
Dr. Ir. HENDAYAT S. A., MS  
NRP. 1955025198031004

REVISI

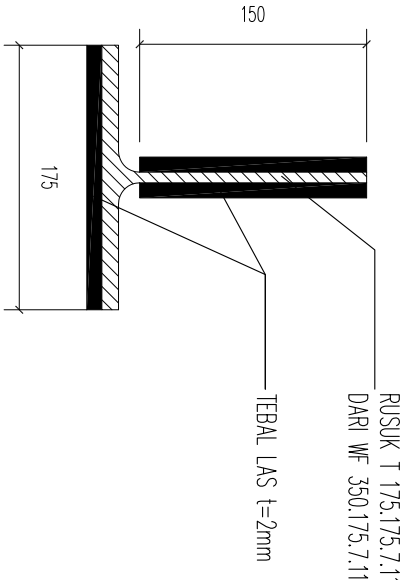
KODE GBR  
STR

NO. GBR  
05

JUMLAH LBR  
43

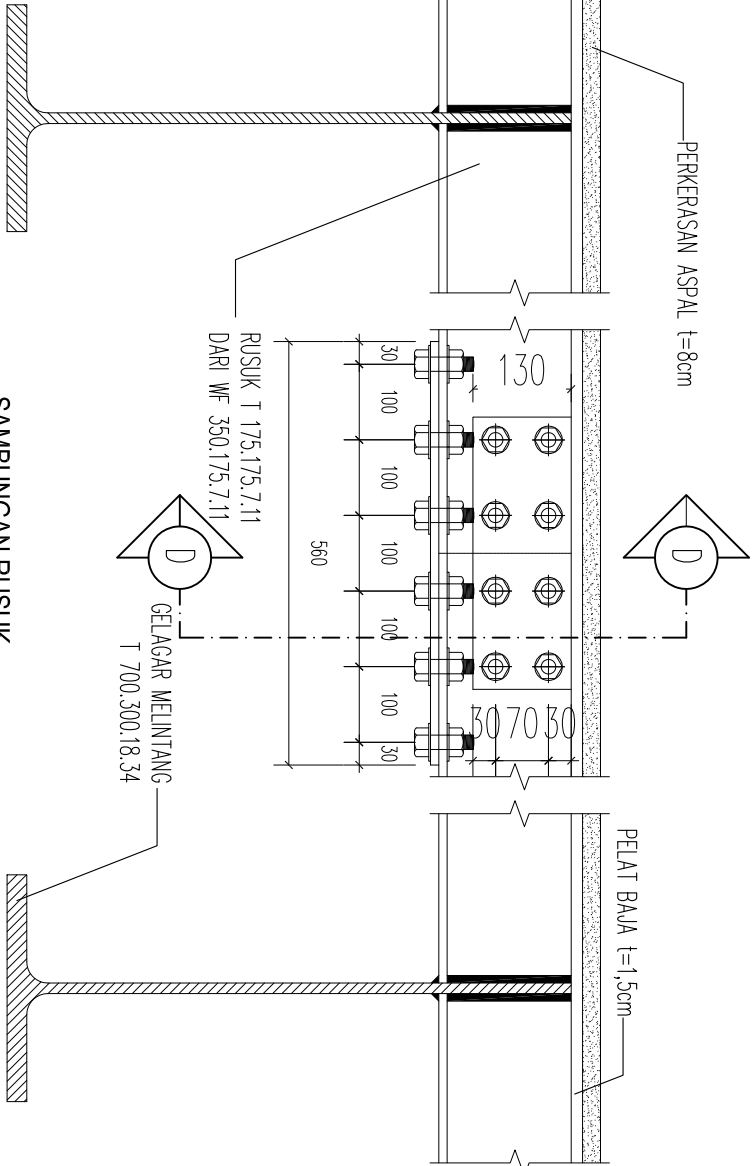
# SAMBUNGAN LAS RUSUK

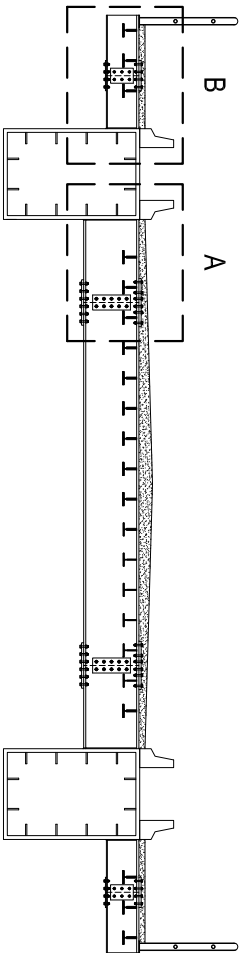
SKALA 1:5



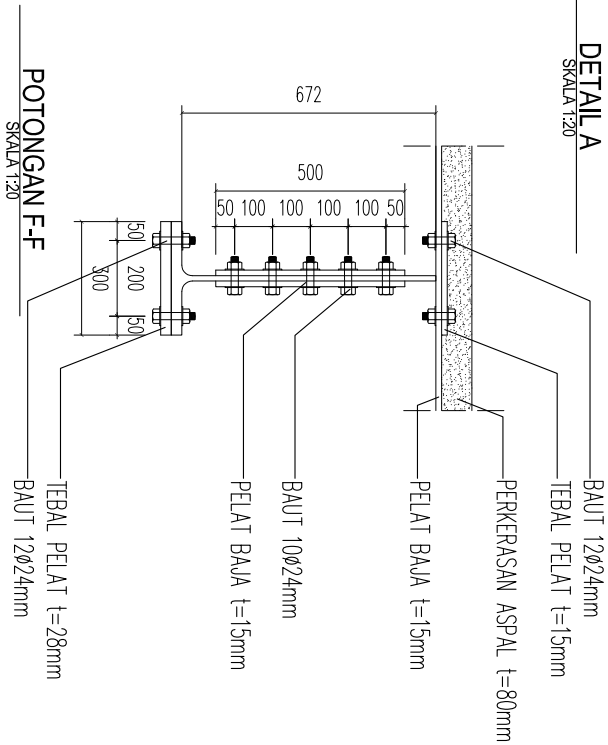
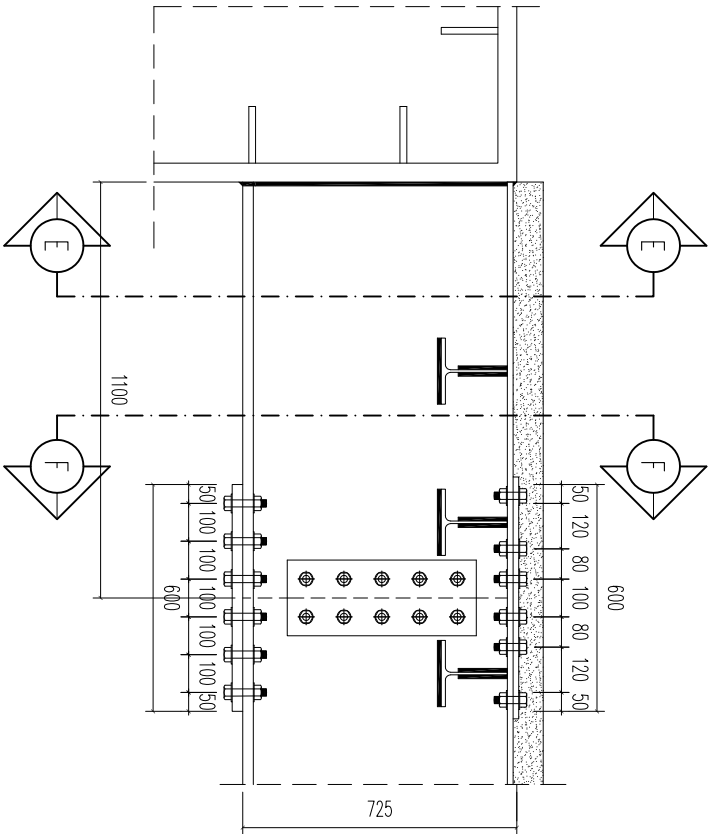
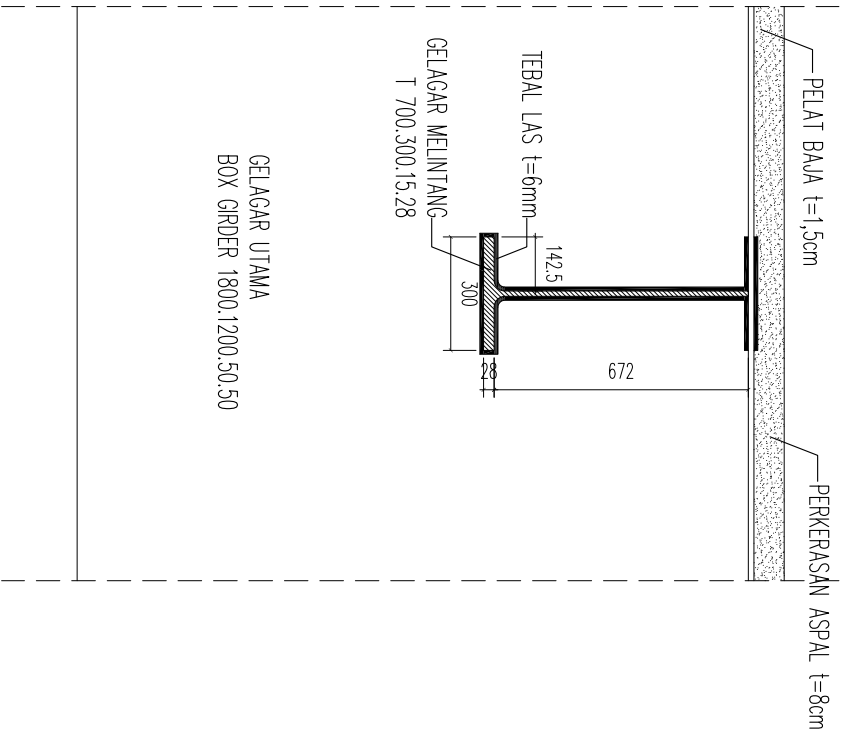
# SAMBUNGAN RUSUK

SKALA 1:10





KEYPLAN



POTONGAN E-E  
SKALA 1:20



DESAIN STRUKTUR JEMBATAN TRUCUK  
KABUPATEN BOJONEGORO DENGAN  
MENGUNAKAN METODE SEMI-HARP PATTERN  
CABLE STAYED

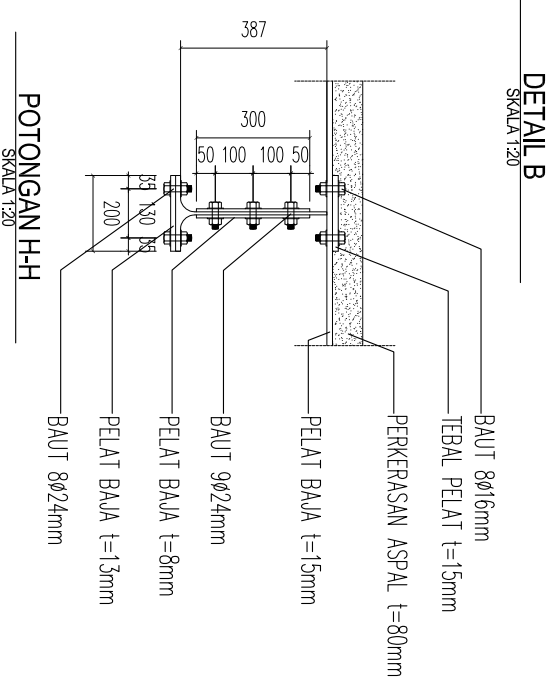
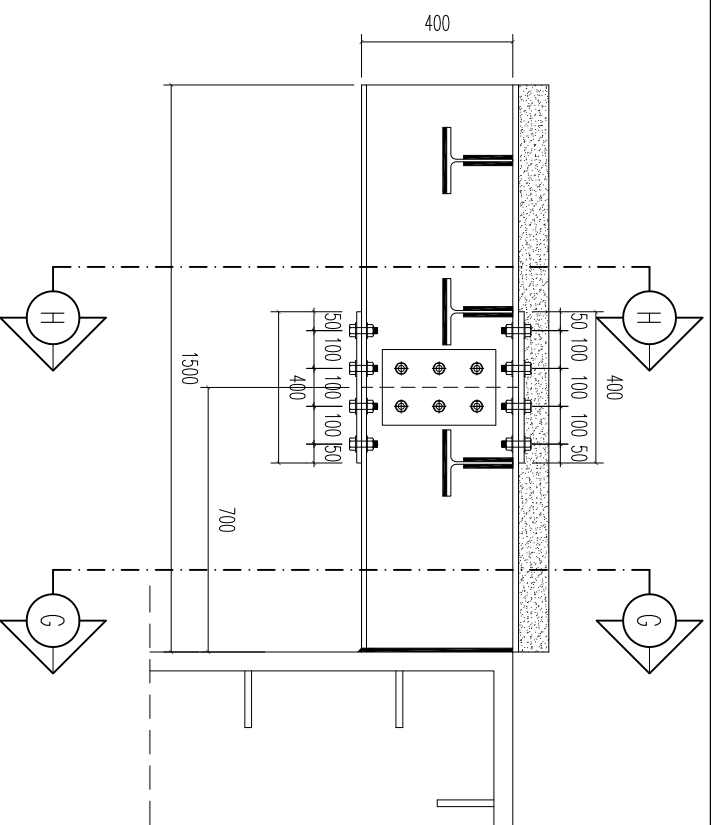
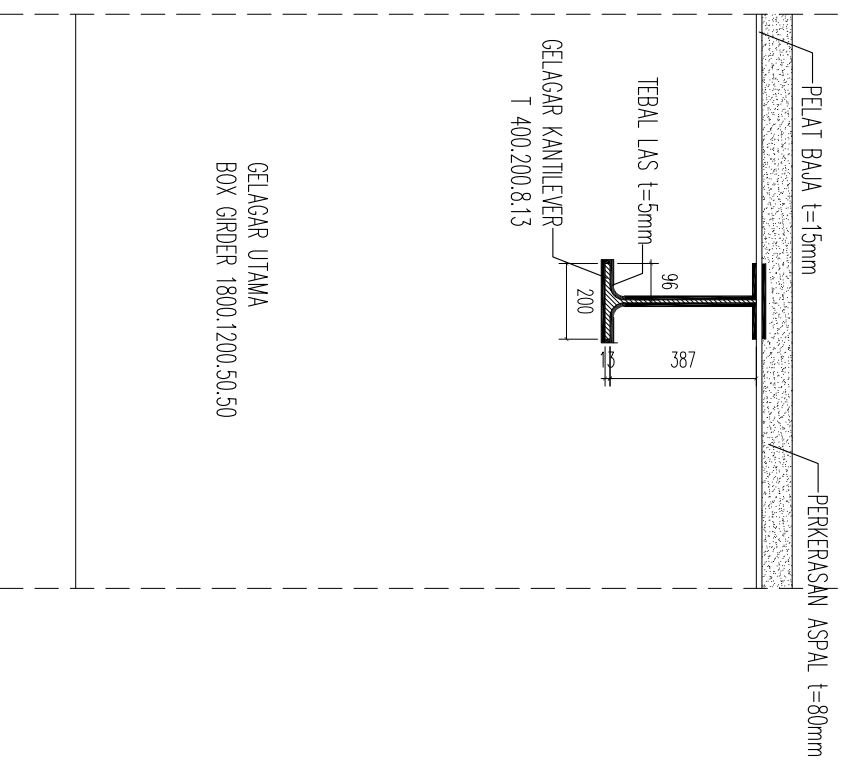
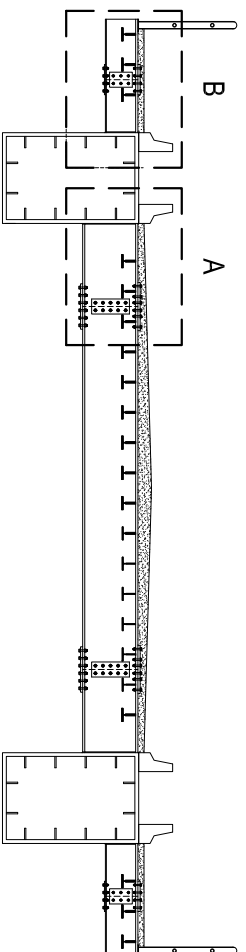
DETAIL A  
POTONGAN E-E  
POTONGAN F-F


SKALA  
1 : 20  
1 : 20  
1 : 20

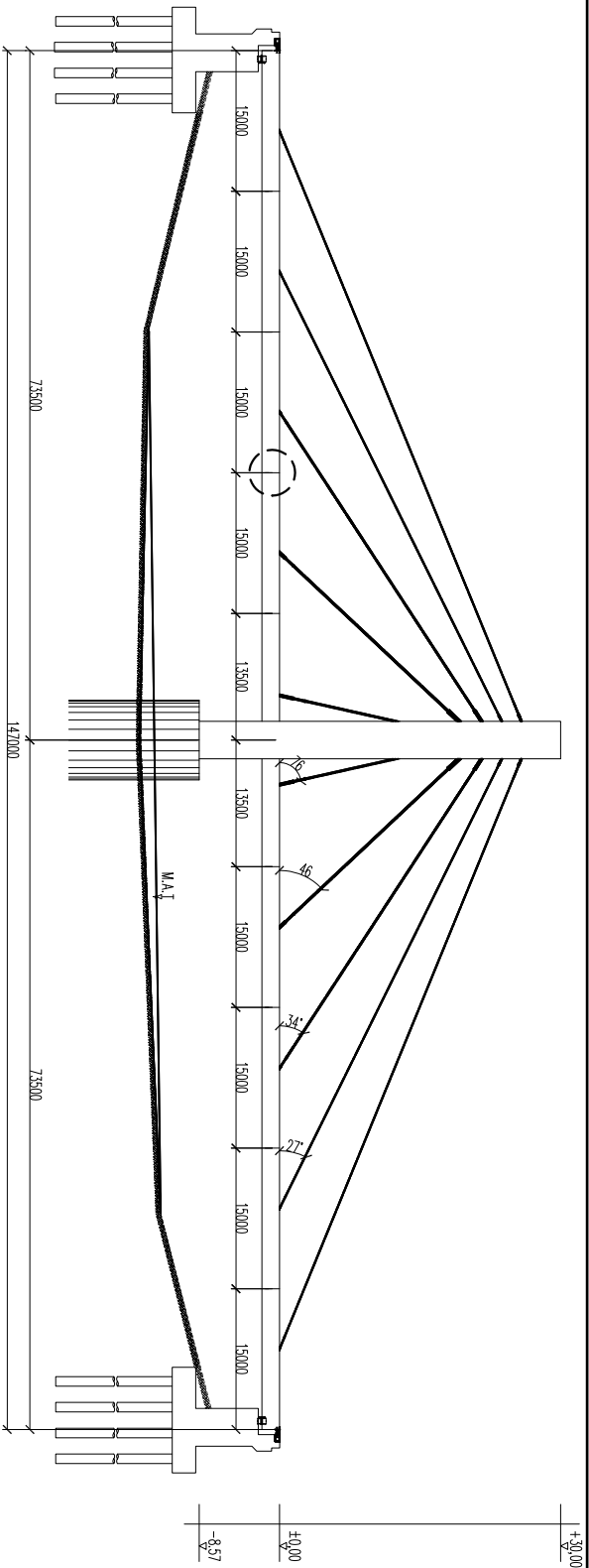
DIGAMBAR  
MAHASISWA :  
RIZAL NUR SYAMSU  
NRP. 3114105038

DIPERIKSA  
DOSEN PEMBIMBING :  
Prof. JAWID ST. MT. Ph.D  
NIP. 1970327197021001  
Dr. Ir. HIDAYAT S. ALI, MS  
NIP. 1955022198031004

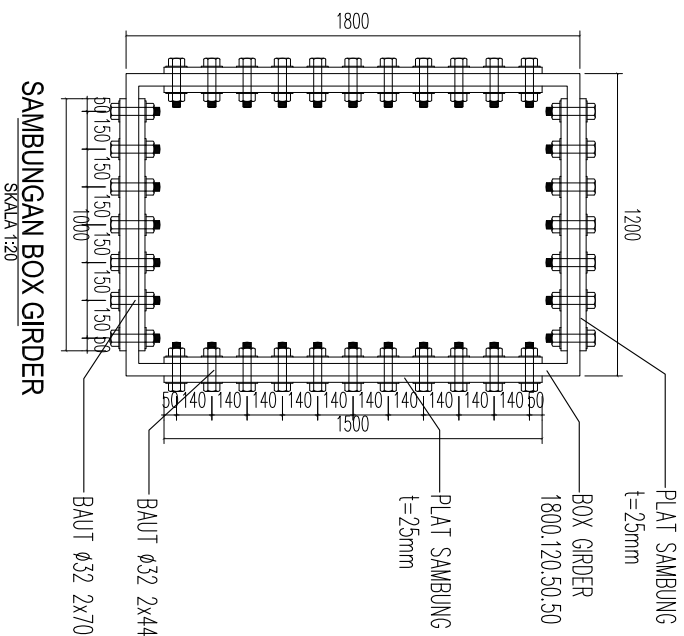
REVISI  
KODE GBR  
STR  
NO. GBR  
06  
Jumlah LBR  
43



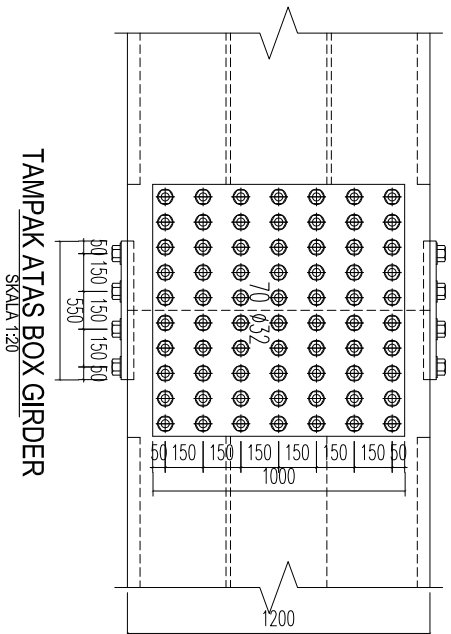
|   |   |               |        |   |           |          |         |           |
|---|---|---------------|--------|---|-----------|----------|---------|-----------|
| <br><b>ITS</b><br>Institut Teknologi<br>Sepuluh Nopember | JUDUL TUGAS AKHIR   | JUDUL GAMBAR  | SKALA  | DIGAMBAR  | DIPERIKSA | REVISI   |         |           |
|   | DESAIN STRUKTUR JEMBATAN TRUCUK<br>KABUPATEN BOJONEGORO DENGAN<br>MENGGUNAKAN METODE SEM-HAAR PATTERN<br>CABLE STAYED | DETAIL B      | 1 : 20 | MAHASISWA :<br><br>DOSEN PEMBIMBING :<br>Prof. T. WIMO, ST., MT., Ph.D<br>NIP. 197003271997021001<br>Dr. Ir. HIDIYATI S., M., MS<br>NIP. 195503257980031004 |           | KODE GBR | NO. GBR | JMLAH LBR |
|   |   | POTONGAN C-G  | 1 : 20 |   |           | STR      | 07      | 43        |
|   |   | POTONGAN I-HH | 1 : 20 |   |           |          |         |           |
|   |   |               |        |   |           |          |         |           |



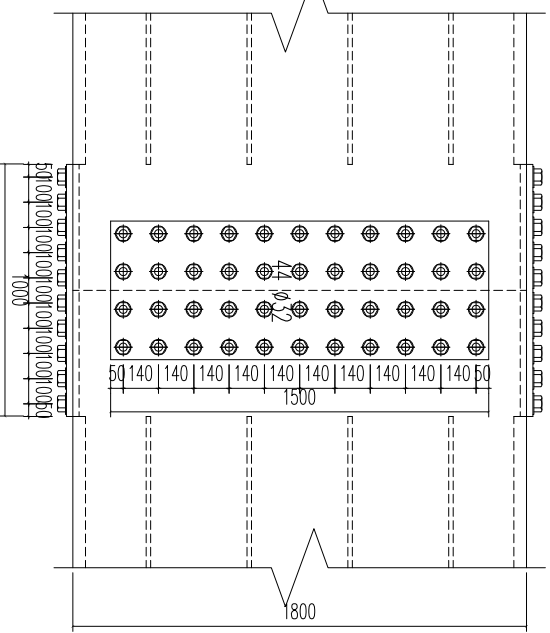
KEYPLAN



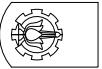
SAMBUNGAN BOX GIRDER  
SKALA 1:20

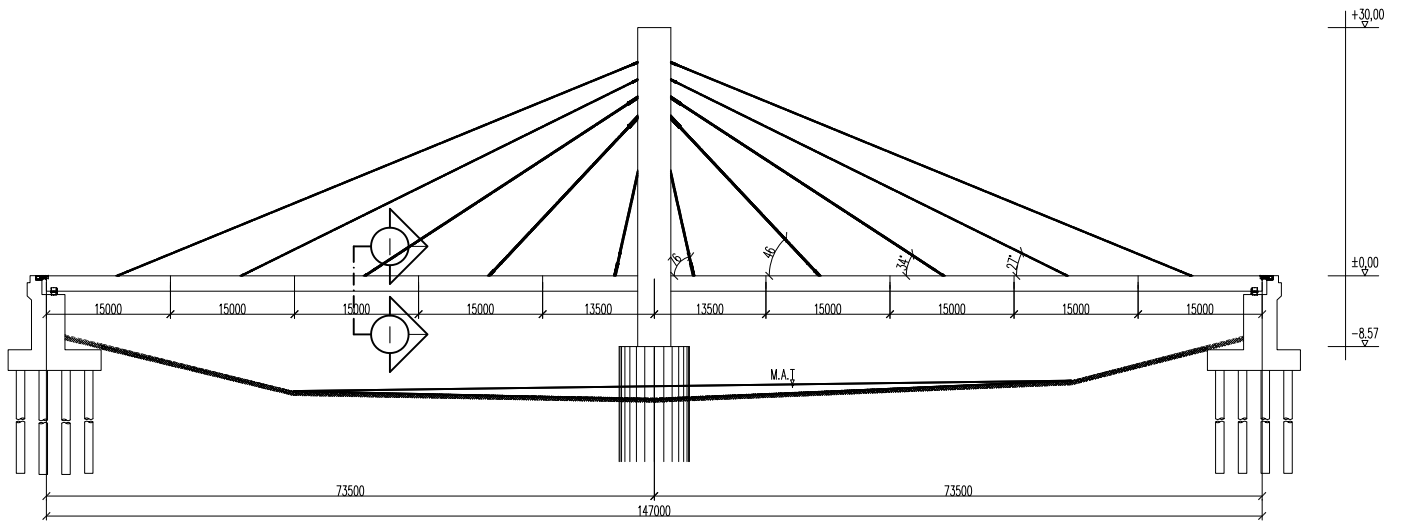


TAMPAK ATAS BOX GIRDER  
SKALA 1:20

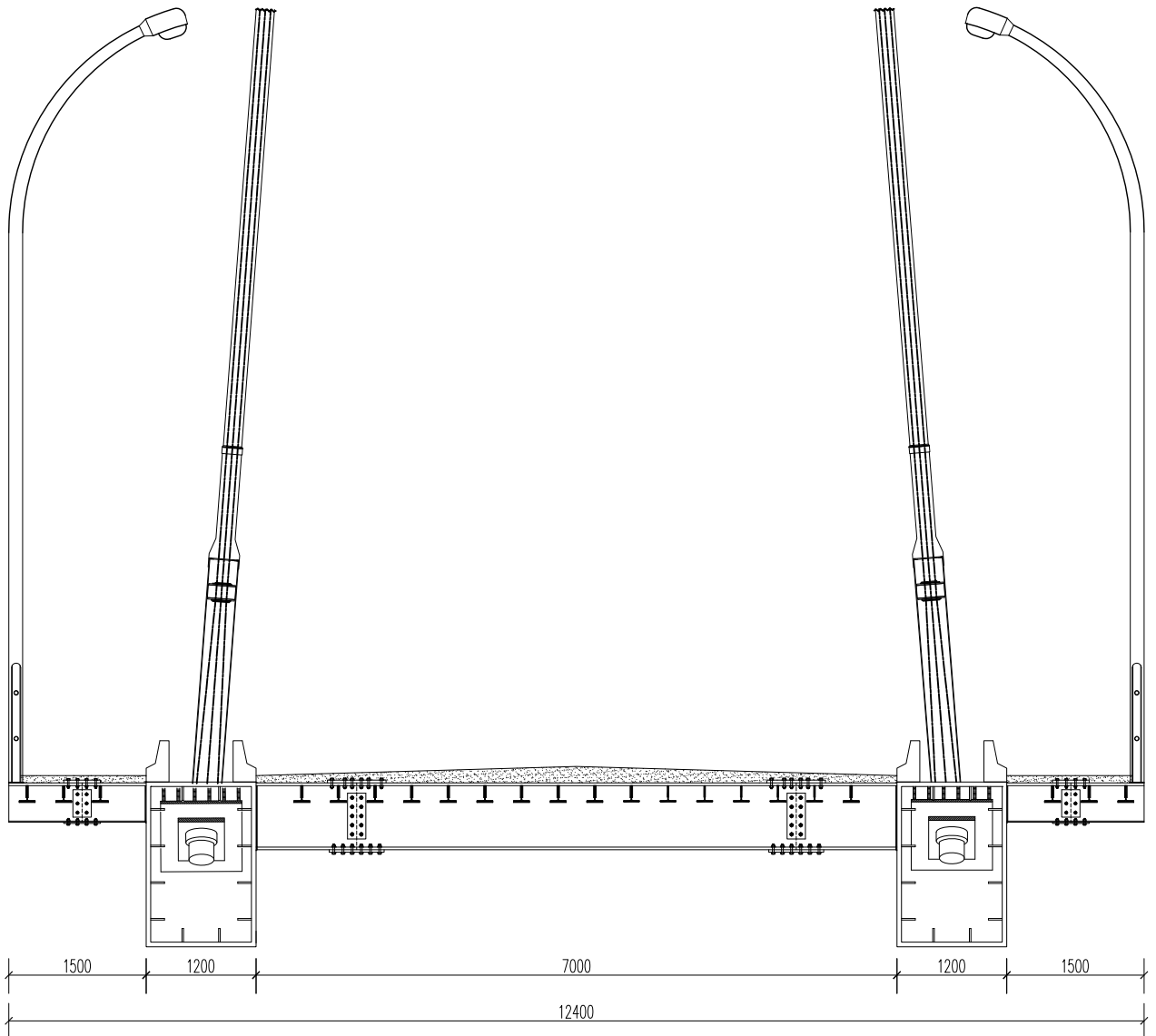


TAMPAK SAMPIING BOX GIRDER  
SKALA 1:20

|  |  |  |  |                  |  |  |  |   |  |           |  |         |  |
|--|--|--|--|------------------|--|--|--|---|--|-----------|--|---------|--|
| <br>ITS<br>Institut<br>Teknologi<br>Sepuluh Nopember |  | JUDUL TUGAS AKHIR                          |  | JUDUL GAMBAR     |  | SKALA  |  | DIGAMBAR  |  | DIPERIKSA |  | REVISI  |  |
| DESAIN STRUKTUR JEMBATAN TRUCUK<br>KABUPATEN BOJONEGORO DENGAN<br>MENGUNAKAN METODE SEMI-HARP PATTERN<br>CABLE STAYED                |  | SAMBUNGAN END PLATE GELGAR<br>POTONGAN E-E |  | 1 : 20<br>1 : 20 |  | MAHASISWA :<br>RIZAL NUR SYAMSU<br>NRP. 3114105038     |  | DOSEN PEMBIMBING :<br>Prof. JAYO, ST, MT, Ph.D<br>NRP. 1970322197021001 |  | KODE GBR  |  | NO. GBR |  |
| 1 : 20   |  | POTONGAN F-F                               |  | 1 : 20           |  | Dr. Ir. HENDAYATI, S. A., MS<br>NRP. 19550325198031004 |  | Jumlah LBR  |  | STR       |  | 08      |  |
|  |  |  |  |                  |  |  |  |   |  |           |  | 43      |  |



KEYPLAN



POTONGAN I-I  
SKALA 1:50



DESAIN STRUKTUR JEMBATAN TRUCUK  
KABUPATEN BOJONEGORO DENGAN  
MENGUNAKAN METODE SEMI-HARP PATTERN  
CABLE STAYED

JUDUL TUGAS AKHIR

JUDUL GAMBAR

SKALA

DIGAMBAR

DIPERIKSA

REVISI

MAHASISWA :  
RIZAL NUR SYAMSU  
NRP. 3114105038

DOSIR PEMBIMBING :  
Prof. TAVIO, ST, MT, Ph.D  
NIP. 1970327197021001  
Dr. Ir. HENRY T. S. A. AS  
NIP. 19550327198031004

KODE GBR

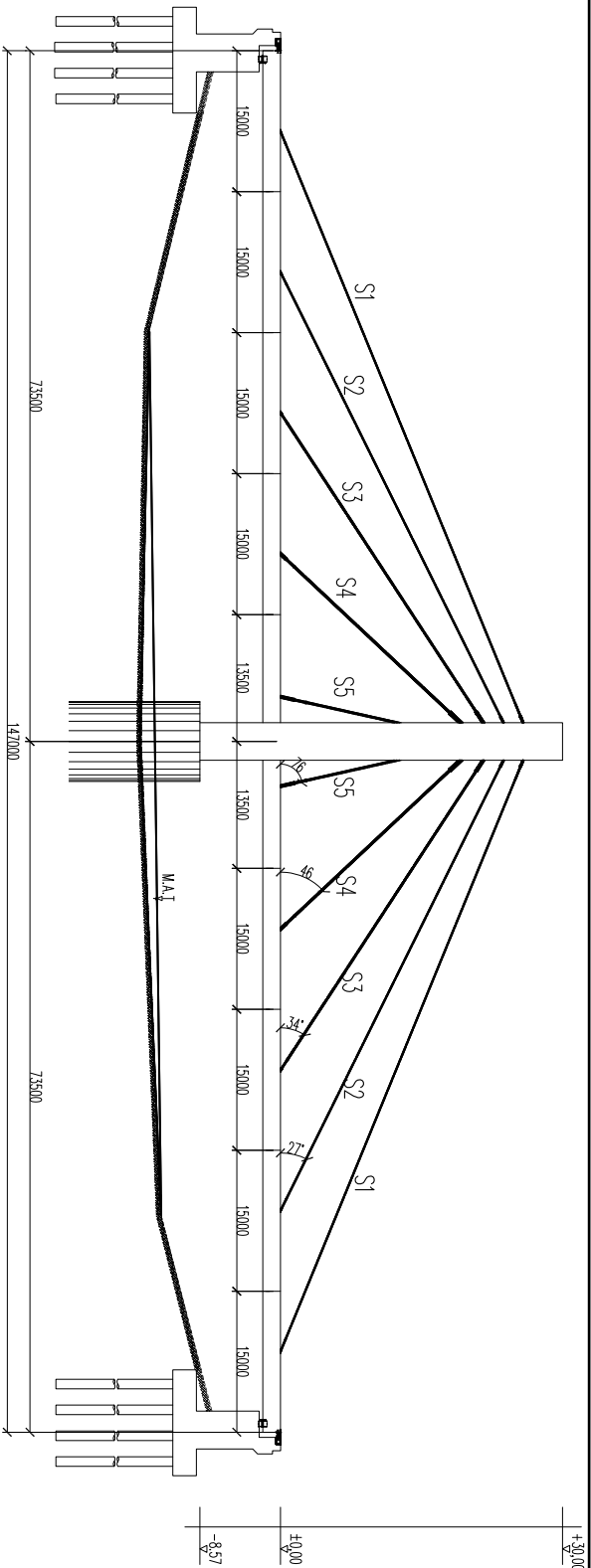
NO. GBR

JUMLAH LBR

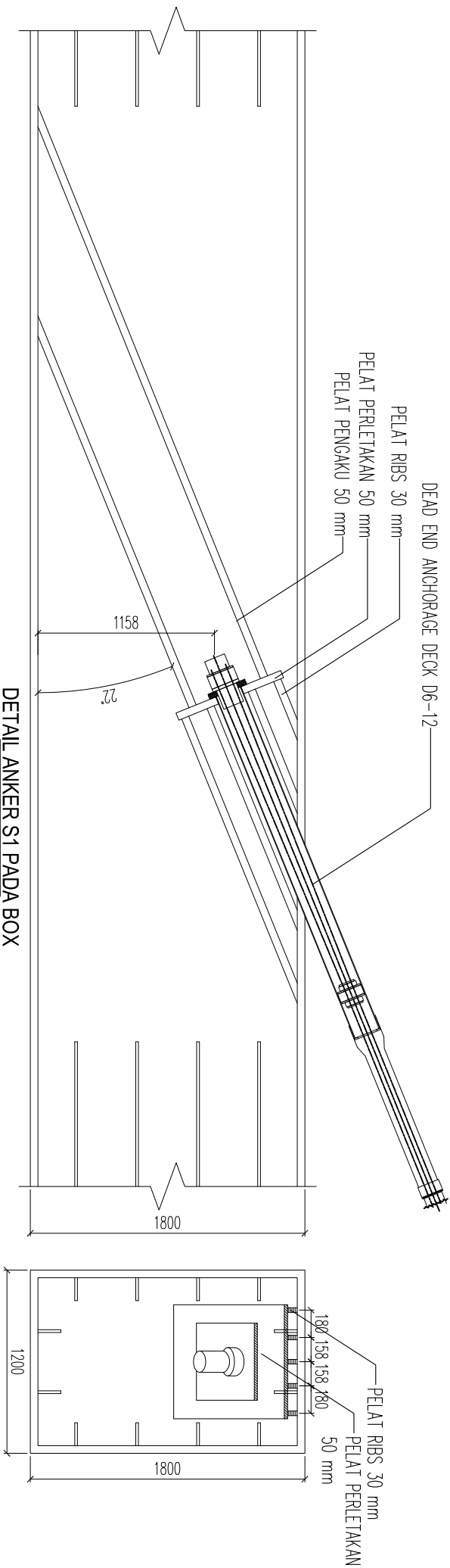
STR

09

43

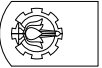


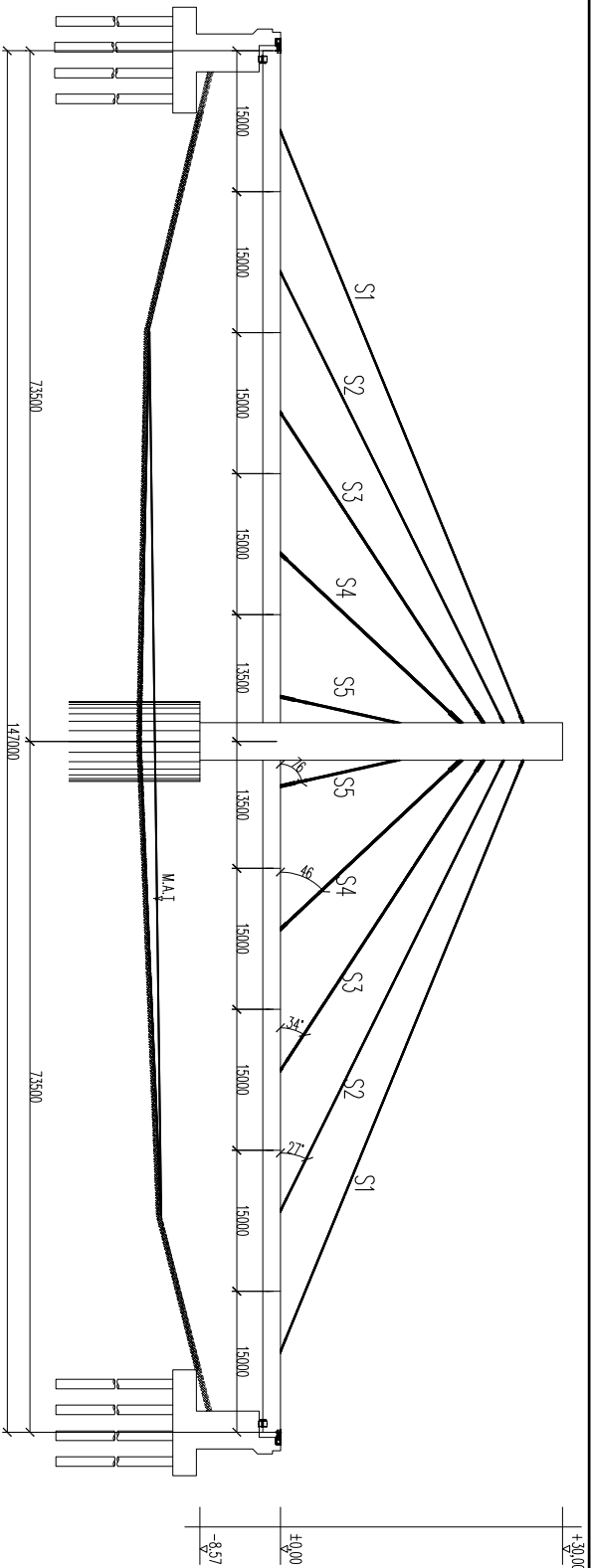
KEYPLAN



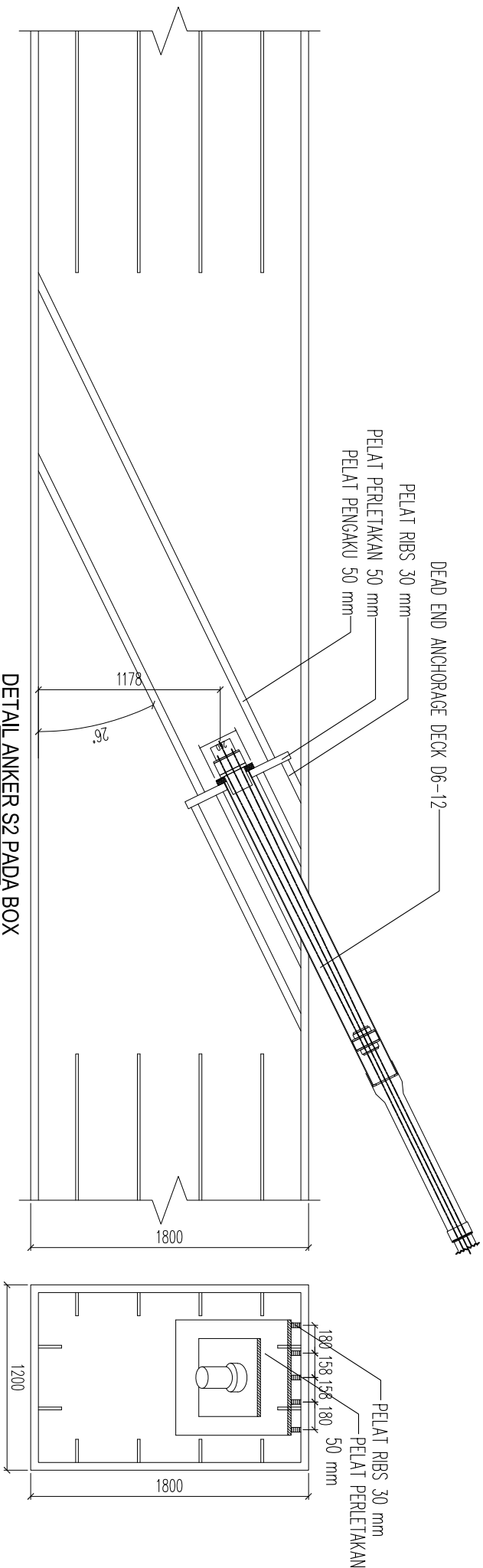
DETAIL ANKER S1 PADA BOX

SKALA 1:25

|  |  |                          |  |              |  |  |  |  |  |  |  |            |  |
|--|--|--------------------------|--|--------------|--|--|--|--|--|--|--|------------|--|
| <br>ITS<br>Institut<br>Teknologi<br>Sepuluh Nopember |  | JUDUL TUGAS AKHIR        |  | JUDUL GAMBAR |  | SKALA  |  | DISAMBAR   |  | DIPERIKSA  |  | REVISI     |  |
| DESAIN STRUKTUR JEMBATAN TRUCUK<br>KABUPATEN BOJONEGORO DENGAN<br>MENGUNAKAN METODE SEMI-HARP PATTERN<br>CABLE STAYED                |  | DETAIL ANKER S1 PADA BOX |  | 1 : 25       |  | MAHASISWA :<br>RIZAL NUR SYAMSU<br>NRP. 3114105038 |  | DOKTER PEMBIMBING :<br>Prof. DR. IYU, ST. MT., Ph.D<br>NRP. 1970327197021007 |  | DOKTER PEMBIMBING :<br>Dr. Ir. HENDAYATI, M. AS<br>NRP. 1950327198031004 |  | KODE GBR   |  |
|  |  |                          |  |              |  |  |  |  |  |  |  | NO. GBR    |  |
|  |  |                          |  |              |  |  |  |  |  |  |  | Jumlah LBR |  |
|  |  |                          |  |              |  |  |  |  |  |  |  | STR        |  |
|  |  |                          |  |              |  |  |  |  |  |  |  | 10         |  |
|  |  |                          |  |              |  |  |  |  |  |  |  | 43         |  |

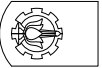


KEYPLAN

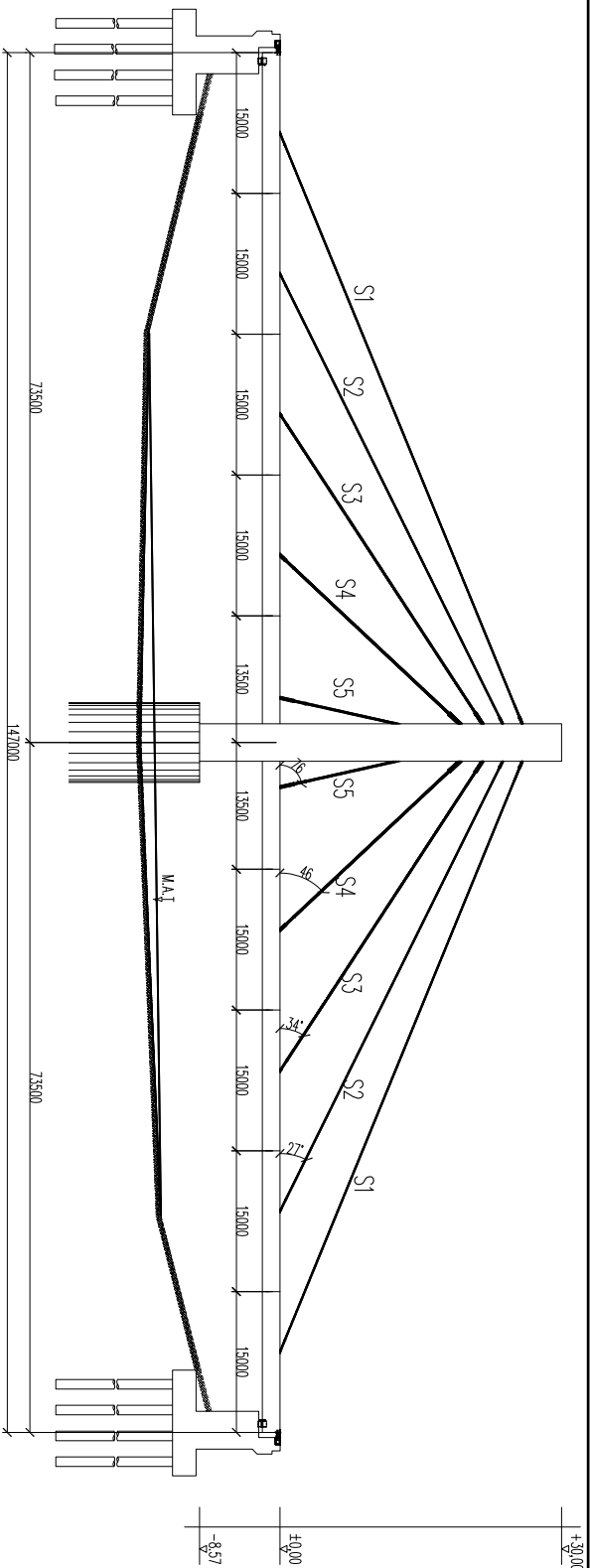


DETAIL ANKER S2 PADA BOX

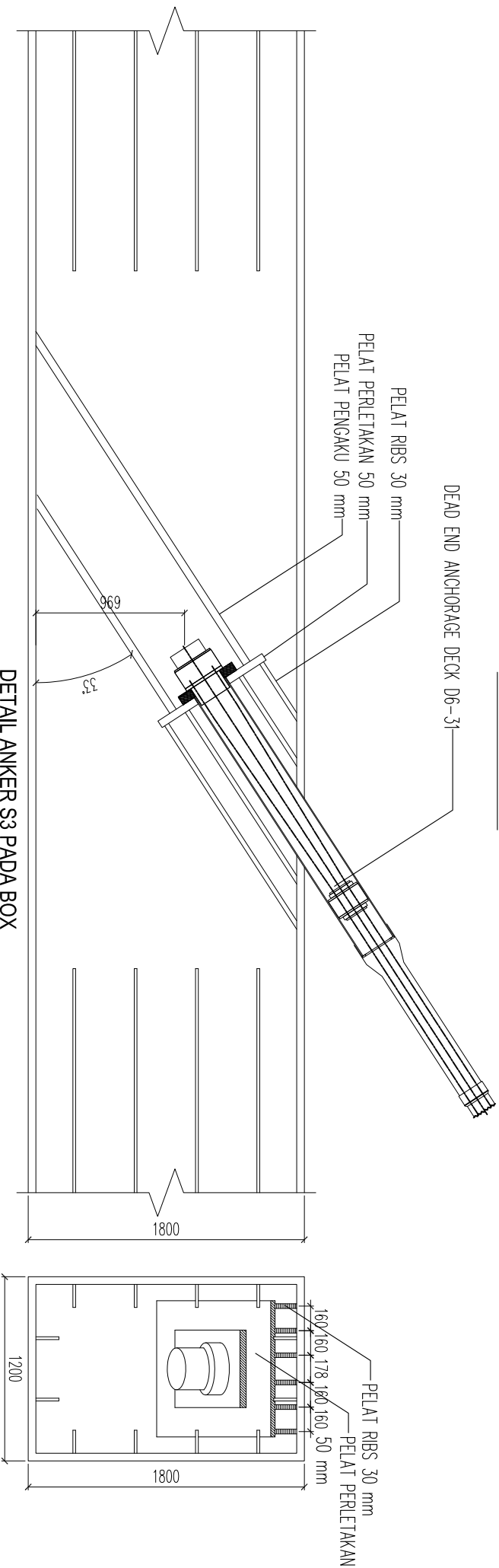
SKALA 1:25

|  |  |                          |  |              |  |  |  |  |  |  |  |            |  |
|--|--|--------------------------|--|--------------|--|--|--|--|--|--|--|------------|--|
| <br>ITS<br>Institut<br>Teknologi<br>Sepuluh Nopember |  | JUDUL TUGAS AKHIR        |  | JUDUL GAMBAR |  | SKALA  |  | DIGAMBAR   |  | DIPERIKSA  |  | REVISI     |  |
| DESAIN STRUKTUR JEMBATAN TRUCUK<br>KABUPATEN BOJONEGORO DENGAN<br>MENGUNAKAN METODE SEMI-HARP PATTERN<br>CABLE STAYED                |  | DETAIL ANKER S2 PADA BOX |  | 1 : 25       |  | MAHASISWA :<br>RIZAL NUR SYAMSU<br>NRP. 3114105038 |  | DOSEN PEMBIMBING :<br>Prof. IYANG, ST, MT, Ph.D<br>NIP. 1970327197021007 |  | Dr. Ir. HENDAYAT S. A. AS<br>NIP. 195503251980031004 |  | KODE GBR   |  |
|  |  |                          |  |              |  |  |  |  |  |  |  | NO. GBR    |  |
|  |  |                          |  |              |  |  |  |  |  |  |  | Jumlah LBR |  |
|  |  |                          |  |              |  |  |  |  |  |  |  | 11         |  |
|  |  |                          |  |              |  |  |  |  |  |  |  | 43         |  |



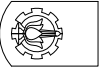


KEYPLAN

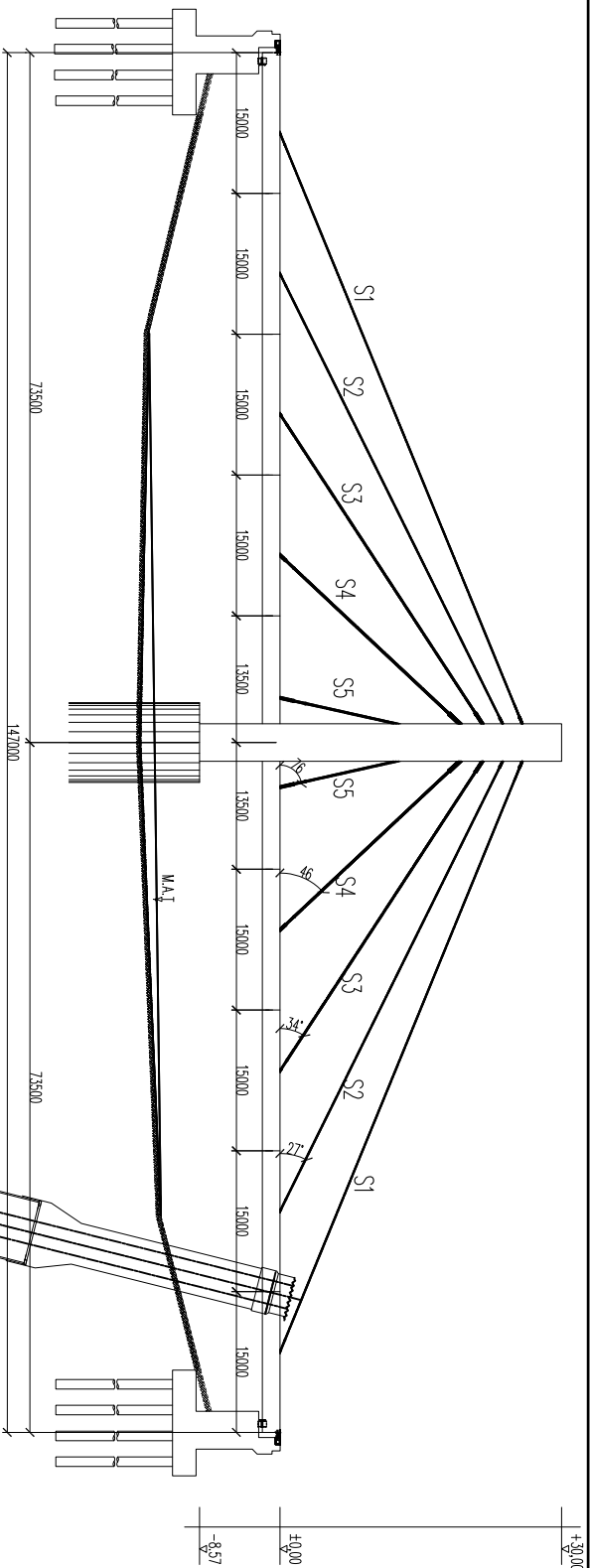


DETAIL ANKER S3 PADA BOX

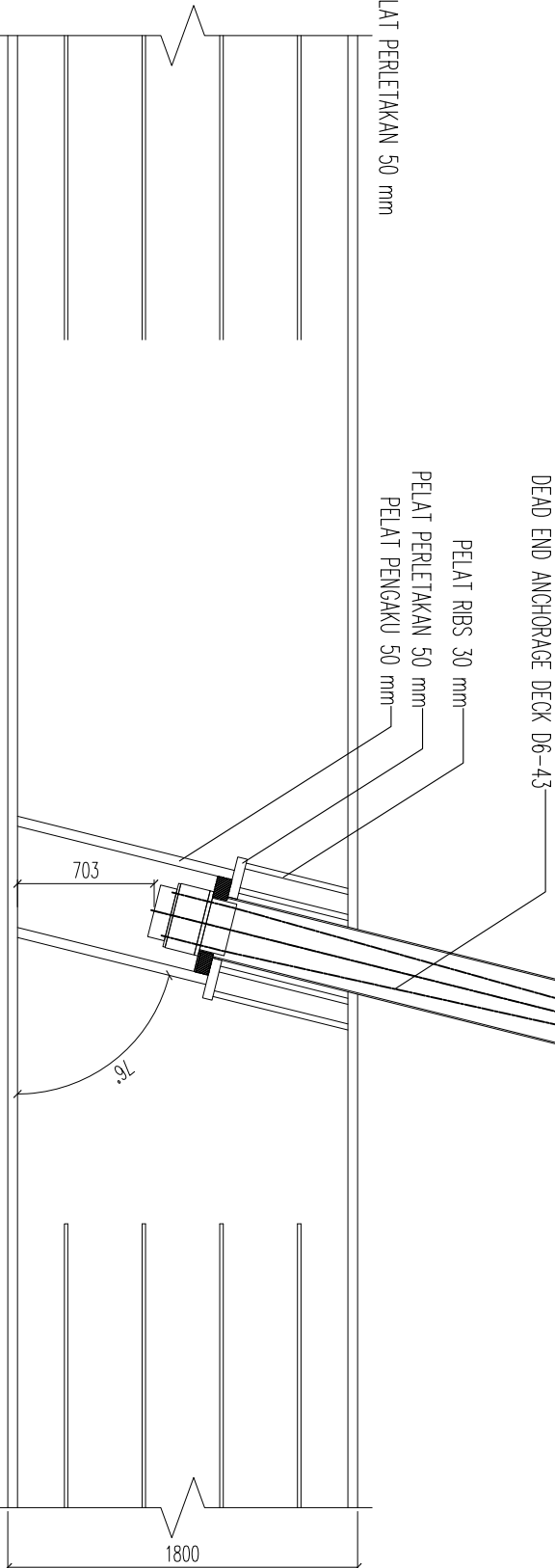
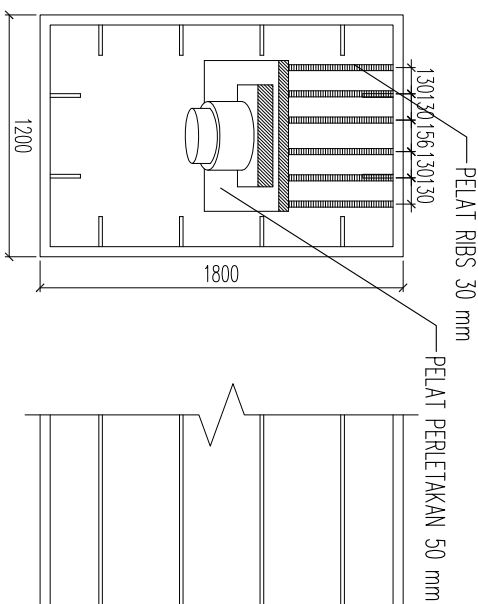
SKALA 1:25

|   |  |                          |  |              |  |  |  |   |  |           |  |            |  |
|---|--|--------------------------|--|--------------|--|--|--|---|--|-----------|--|------------|--|
| <br>Institut Teknologi Sepuluh Nopember |  | JUDUL TUGAS AKHIR        |  | JUDUL GAMBAR |  | SKALA  |  | DIGAMBAR  |  | DIPERIKSA |  | REVISI     |  |
| DESAIN STRUKTUR JEMBATAN TRUCUK KABUPATEN BOJONEGORO DENGAN MENGGUNAKAN METODE SEMI-HARP PATTERN CABLE STAYED           |  | DETAIL ANKER S3 PADA BOX |  | 1 : 25       |  | MAHASISWA :<br>RIZAL NUR SYAMSU<br>NRP. 3114105038 |  | DOSEN PEMBIMBING :<br>Prof. IYANG ST. ARI, Ph.D<br>NIP. 1970327197021007<br>Dr. Ir. HENDAYATI S. A., MS<br>NIP. 19550327198031004 |  | KODE GBR  |  | NO. GBR    |  |
|   |  |                          |  |              |  |  |  |   |  | STR       |  | 12         |  |
|   |  |                          |  |              |  |  |  |   |  |           |  | Jumlah LBR |  |
|   |  |                          |  |              |  |  |  |   |  |           |  | 43         |  |





KEYPLAN

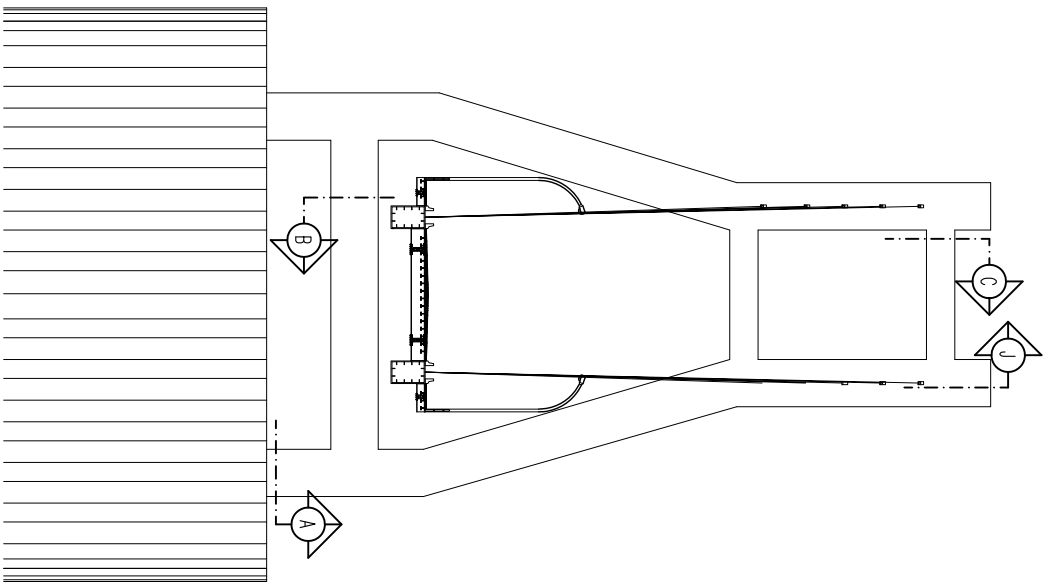


DETAIL ANKER S5 PADA BOX

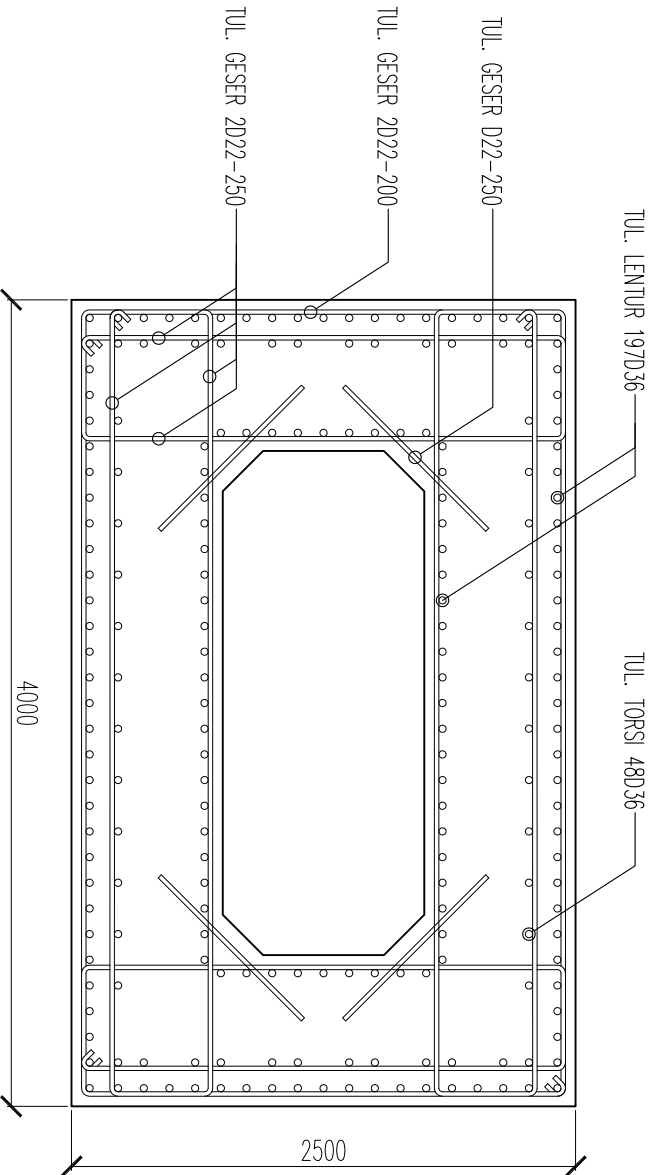
SKALA 1:25

|   |  |                          |  |        |  |   |          |         |            |
|---|--|--------------------------|--|--------|--|---|----------|---------|------------|
| JUDUL TUGAS AKHIR   |  | JUDUL GAMBAR             |  | SKALA  | DIGAMBAR   | DIPERIKSA   | REVISI   |         |            |
| DESAIN STRUKTUR JEMBATAN TRUCUK<br>KABUPATEN BOJONEGORO DENGAN<br>MENGUNAKAN METODE SEMI-HARP PATTERN<br>CABLE STAYED |  | DETAIL ANKER S5 PADA BOX |  | 1 : 25 | MAHASISWA :<br>RIZAL NUR SYAMSU<br>NRP. 3114105038 | DOSEN PEMBIMBING :<br>Prof. JAWID, ST, MT, Ph.D<br>NIP. 1970327197021007<br>Dr. Ir. HENDAYATI S. A., MS<br>NIP. 19550325198031004 | KODE GBR | NO. GBR | JUMLAH LBR |
|   |  |                          |  |        |  |   | STR      | 14      | 43         |

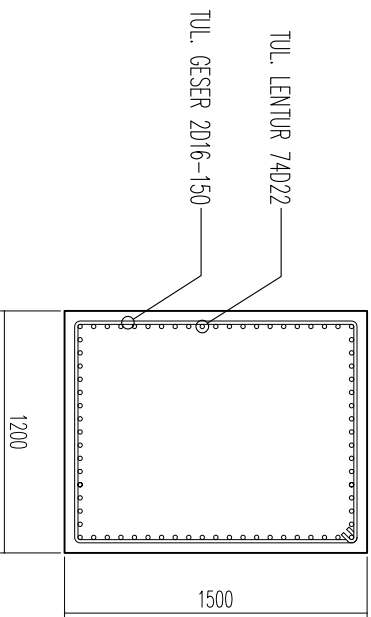




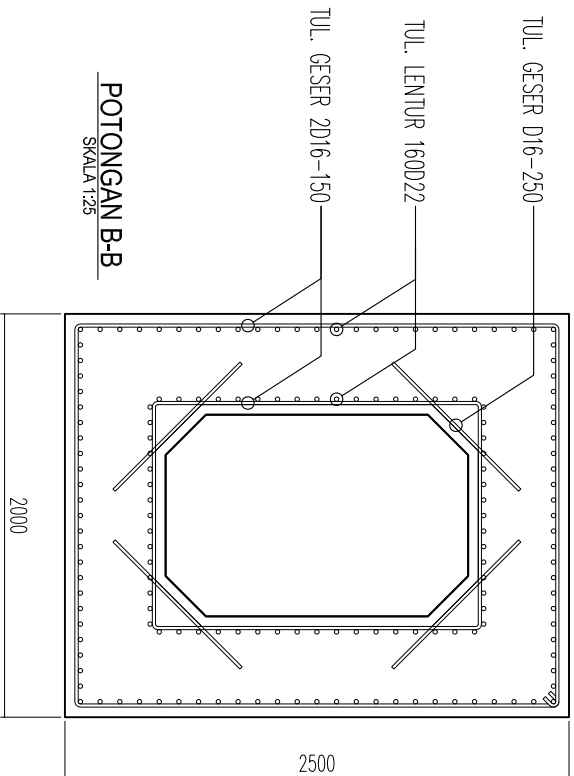
KEYPLAN




POTONGAN A-A  
SKALA 1:25

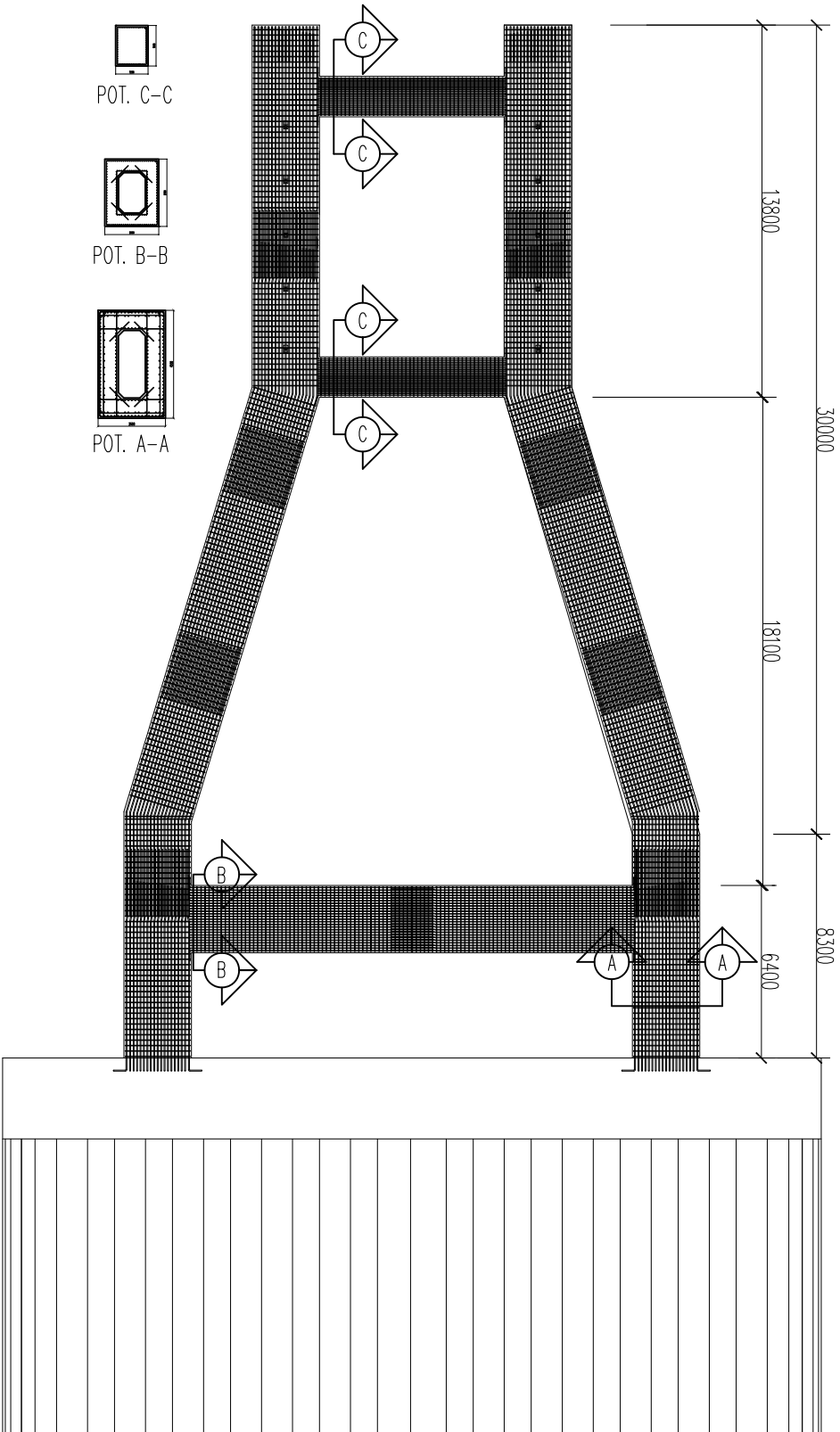


POTONGAN C-C  
SKALA 1:25




POTONGAN B-B  
SKALA 1:25

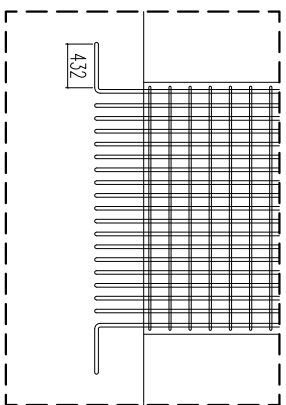
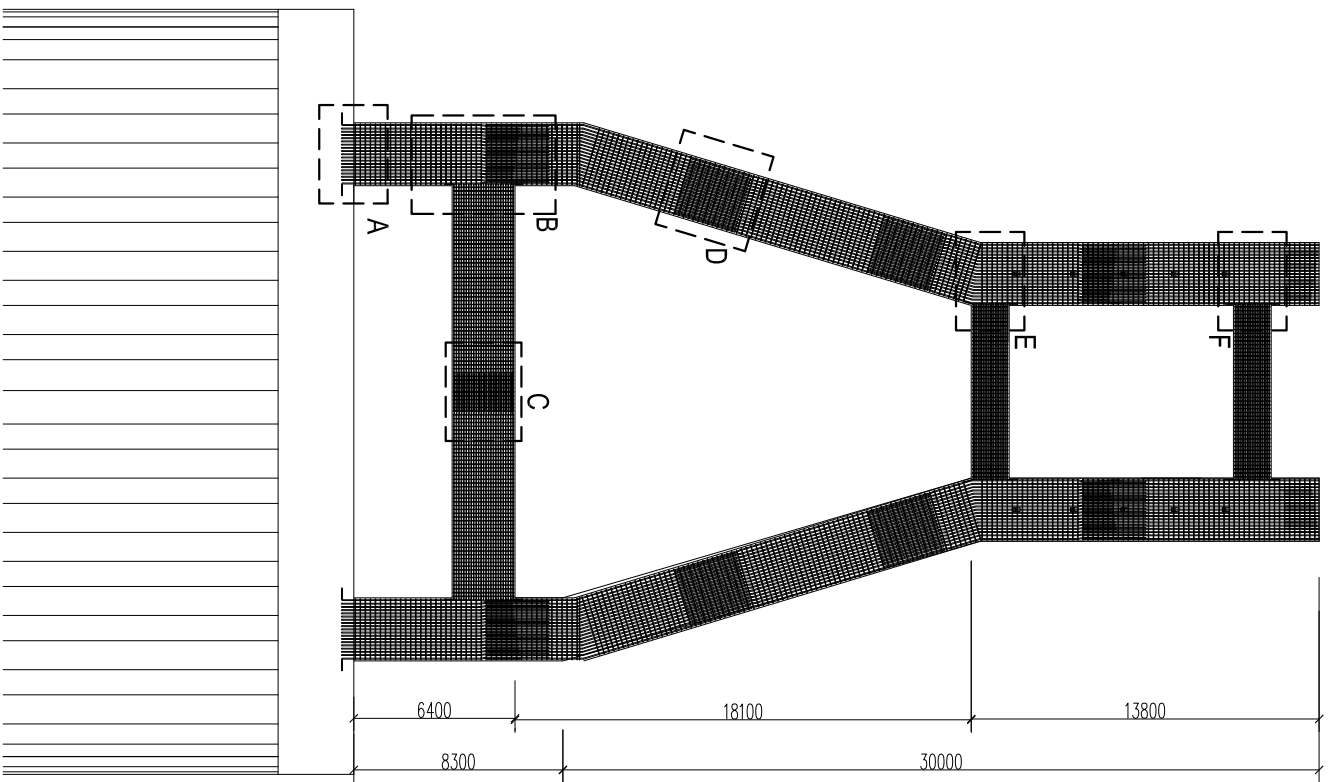
|   |  |  |  |                            |  |   |            |  |
|---|--|--|--|----------------------------|--|---|------------|--|
| <br><b>ITS</b><br>Institut Teknologi<br>Sepuluh Nopember | JUDUL TUGAS AKHIR  |  | JUDUL GAMBAR                           | SKALA                      | DIGAMBAR   | DIPERIKSA   | REVISI     |  |
|   | DESAIN STRUKTUR JEMBATAN TRUKUK<br>KABUPATEN BOJONEGORO DENGAN<br>MENGGUNAKAN METODE SEMI-HARP PATTERN<br>CABLE STAYED |  | DETAIL A-A<br>DETAIL B-B<br>DETAIL C-C | 1 : 25<br>1 : 25<br>1 : 25 | MAHASISWA :<br><br>RIZAL NUR SYAMSU<br>NRP. 3114105038 | DOSSEN PEMBIMBING :<br><br>Prof. JAYDI, ST, MT, Ph.D<br>NIP. 1970327197021007<br>Dr. Ir. HENDAYAT S. A., MS<br>NIP. 19550221980031004 |            |  |
|   |  |  |  |                            |  |   | KODE GBR   |  |
|   |  |  |  |                            |  |   | NO. GBR    |  |
|   |  |  |  |                            |  |   | Jumlah LBR |  |
|   |  |  |  |                            |  |   | STR        |  |



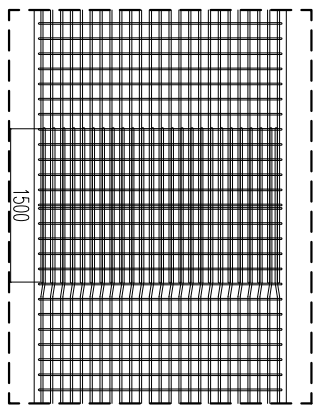
PENULANGAN PYLON

SKALA 1:250

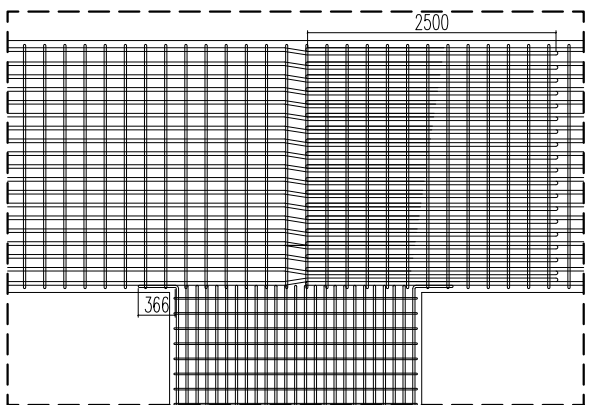
|  |  |                  |  |         |  |  |  |  |  |          |  |         |  |            |  |
|--|--|------------------|--|---------|--|--|--|--|--|----------|--|---------|--|------------|--|
|  <div>ITS<br/>Institut Teknologi<br/>Sepuluh Nopember</div> |  |                  |  |         |  |  |  |  |  |          |  |         |  |            |  |
| JUDUL TUGAS AKHIR  |  | JUDUL GAMBAR     |  | SKALA   |  | DIGAMBAR   |  | DIPERIKSA  |  | REVISI   |  |         |  |            |  |
| DESAIN STRUKTUR JEMBATAN TRUCUK<br>KABUPATEN BOJONEGORO DENGAN<br>MENGUNAKAN METODE SEMI-HARP PATTERN<br>CABLE STAYED                        |  | PENULANGAN PYLON |  | 1 : 250 |  | MAHASISWA :<br><br>RIZAL NUR SYAMSU<br>NRP. 3114105038 |  | DOSEN PEMBIMBING :<br>Prof. . TAMU, ST, MT, Ph.D<br>NIP.1970327197021001<br>Dr. Ir. HIDAYAT S. M., MS<br>NIP.19550221198031004 |  |          |  |         |  |            |  |
|  |  |                  |  |         |  |  |  |  |  | KODE GBR |  | NO. GBR |  | Jumlah LBR |  |
|  |  |                  |  |         |  |  |  |  |  | STR      |  | 16      |  | 43         |  |



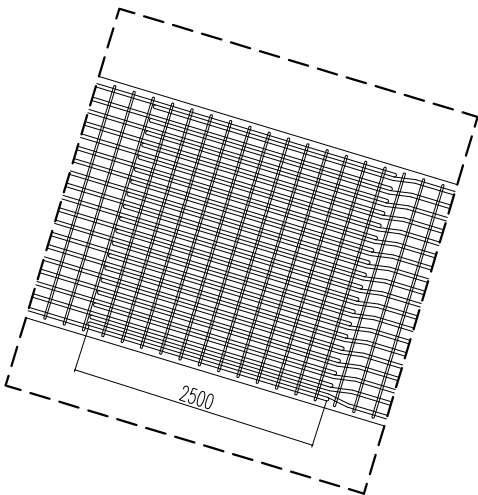
POTONGAN A-A  
SKALA 1:50



POTONGAN C-C  
SKALA 1:50



POTONGAN B-B  
SKALA 1:50

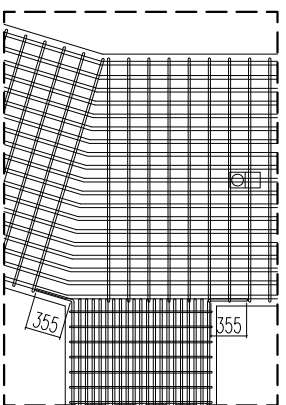
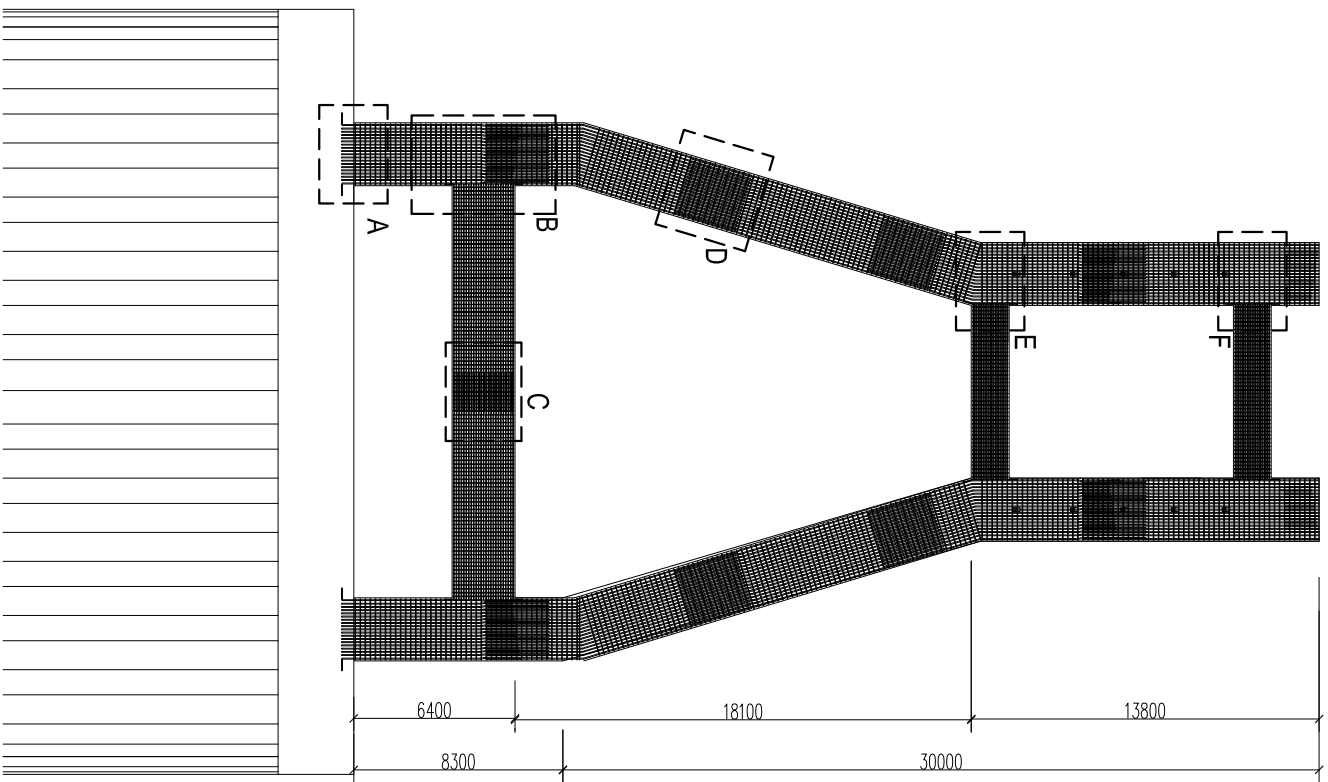


POTONGAN D-D  
SKALA 1:50

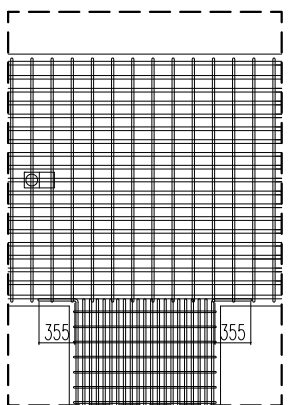
# KEYPLAN



| JUDUL, TUGAS AKHIR  | JUDUL GAMBAR | SKALA  | DIGAMBAR   | DIPERIKSA   | REVISI   |         |            |
|---|--------------|--------|--|---|----------|---------|------------|
| DESAIN STRUKTUR JEMBATAN TRUCUK<br>KABUPATEN BOJONEGORO DENGAN<br>MENGUNAKAN METODE SEMI-HARP PATTERN<br>CABLE STAYED | POTONGAN A   | 1 : 50 | MAHASISWA :<br><br>RIZAL NUR SYAMSU<br>NRP. 3114105038 | DOSEN PEMBIMBING :<br>Prof. JAYO, ST, MT, Ph.D<br>NIP. 1970327197021001<br>Dr. Ir. HENDAYAT S. A., MS<br>NIP. 19550327198031004 |          |         |            |
|   | POTONGAN B   | 1 : 50 |  |   |          |         |            |
|   | POTONGAN C   | 1 : 50 |  |   |          |         |            |
|   | POTONGAN C   | 1 : 50 |  |   |          |         |            |
|   | POTONGAN C   | 1 : 50 |  |   |          |         |            |
|   |              |        |  |   | KODE GBR | NO. GBR | JUMLAH LBR |
|   |              |        |  |   | STR      | 17      | 43         |



POTONGAN E-E  
SKALA 1:50

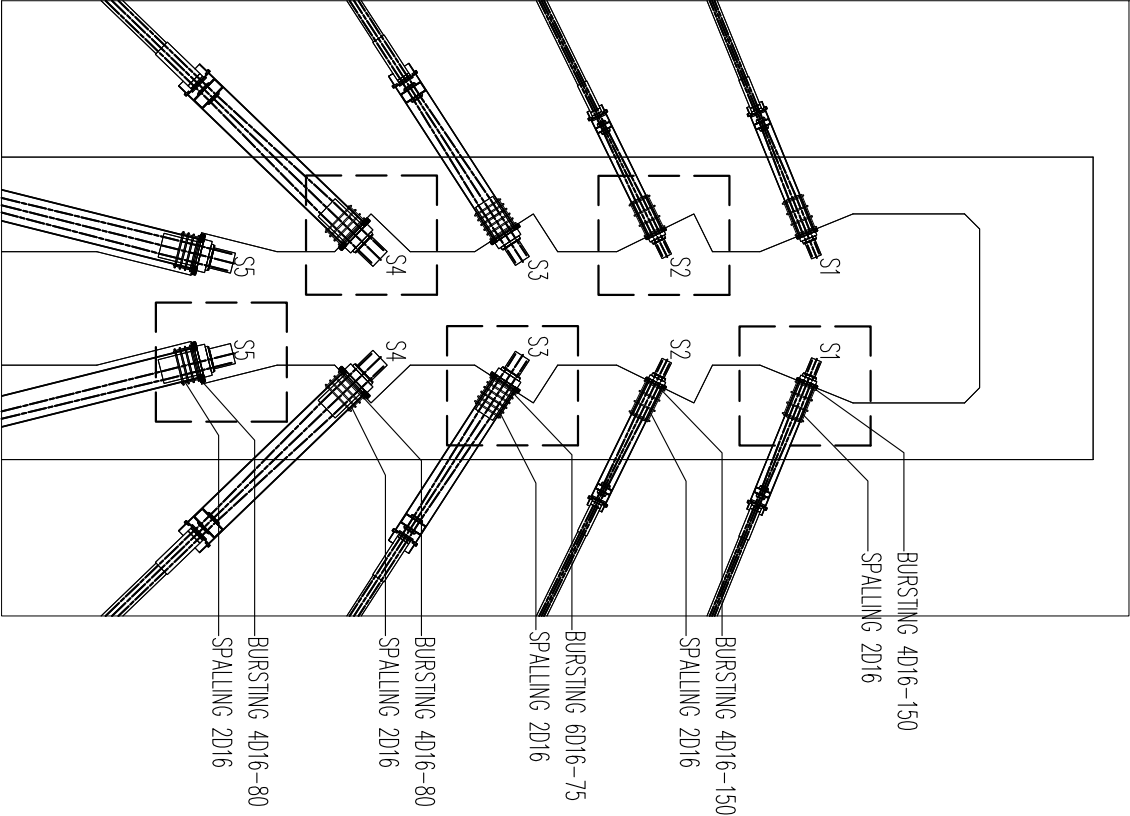


POTONGAN F-F  
SKALA 1:50

# KEYPLAN

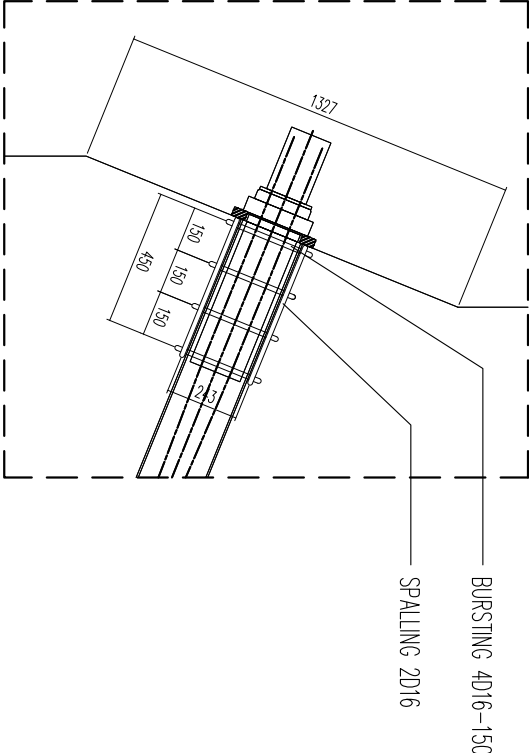


|  |              |         |  |   |        |  |  |
|--|--------------|---------|--|---|--------|--|--|
| JUDUL TUGAS AKHIR  | JUDUL GAMBAR | SKALA   | DIGAMBAR   | DIPERIKSA   | REVISI |  |  |
| DESAIN STRUKTUR JEMBATAN TRUCUK<br>KABUPATEN BOJONEGORO DENGAN<br>MENGGUNAKAN METODE SEMI-HARP PATTERN<br>CABLE STAYED | POTONGAN E   | 1 : 50  | MAHASISWA :<br><br>RIZAL NUR SYAMSU<br>NRP. 3114105038 | DOSEN PEMBIMBING :<br>Prof. JAWID ST. ANI, Ph.D<br>NIP. 19703271997021001<br><br>Dr. Ir. HENDAYATI S. A., MS<br>NIP. 195503271980031004 |        |  |  |
|  | POTONGAN F   | 1 : 50  |  |   |        |  |  |
|  |              |         |  |   |        |  |  |
|  | KODE GBR     | NO. GBR | JUMLAH LBR   |   |        |  |  |
|  | STR          | 18      | 43   |   |        |  |  |



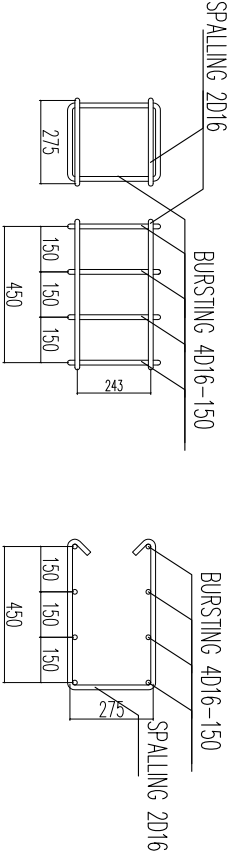
POTONGAN J-J

SKALA 1:100



DETAIL S1

SKALA 1:25

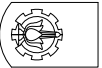


DETAIL TULANGAN BURSTING

SKALA 1:25

DETAIL TULANGAN SPALLING

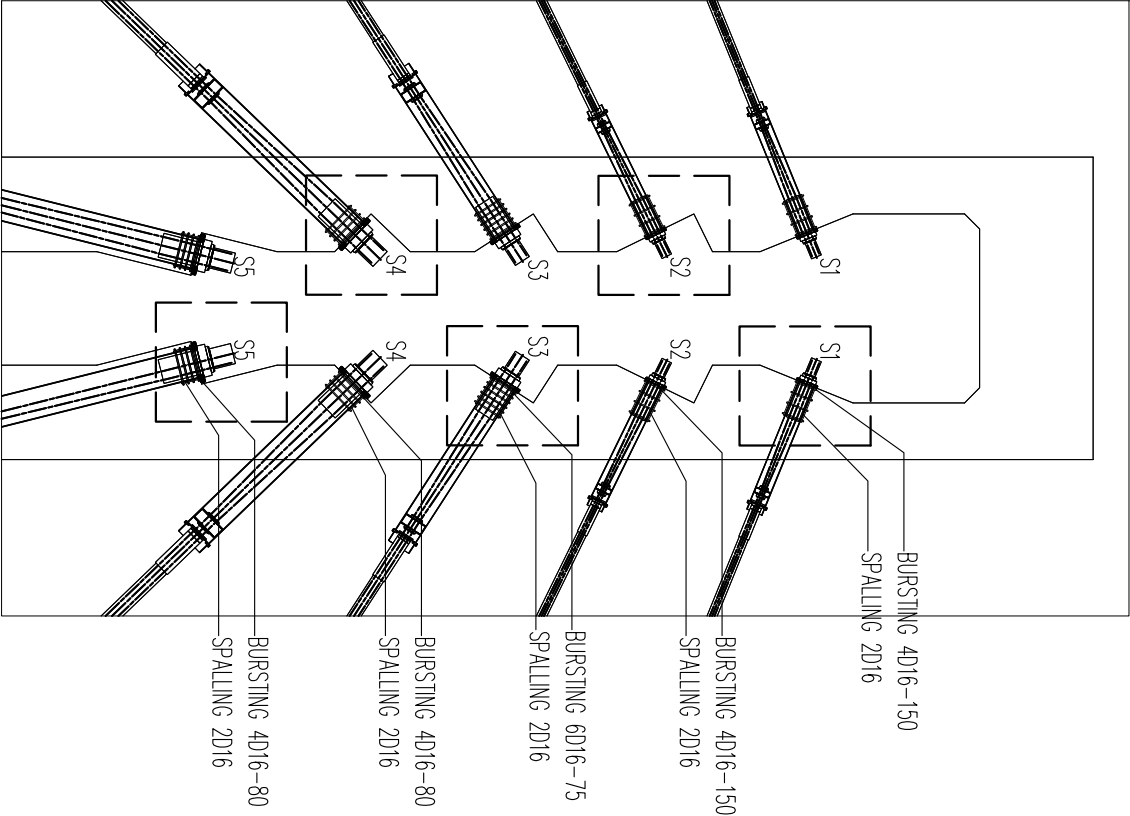
SKALA 1:25

|   |  |                           |  |                             |  |  |  |  |  |  |  |            |  |
|---|--|---------------------------|--|-----------------------------|--|--|--|--|--|--|--|------------|--|
| <br>ITS<br>Institut Teknologi<br>Sepuluh Nopember |  | JUDUL TUGAS AKHIR         |  | JUDUL GAMBAR                |  | SKALA  |  | DIGAMBAR   |  | DIPERIKSA  |  | REVISI     |  |
| DESAIN STRUKTUR JEMBATAN TRUCUK<br>KABUPATEN BOJONEGORO DENGAN<br>MENGUNAKAN METODE SEMI-HARP PATERN<br>CABLE STAYED              |  | POTONGAN J-J<br>DETAIL S1 |  | 1 : 100<br>1 : 50<br>1 : 25 |  | MAHASISWA :<br>RIZAL NUR SYAMSU<br>NRP. 3114105038 |  | DOSEN PEMBIMBING :<br>Prof. TAVIO, ST, MT, Ph.D<br>NIP. 1970327197021001 |  | Dr. Ir. HENDAYAT S. A., MS<br>NIP. 19550327198031004 |  | KODE GBR   |  |
|   |  | DETAIL TULANGAN SPALLING  |  | 1 : 25                      |  |  |  |  |  |  |  | NO. GBR    |  |
|   |  |                           |  |                             |  |  |  |  |  |  |  | Jumlah Lbr |  |
|   |  |                           |  |                             |  |  |  |  |  |  |  | STR        |  |
|   |  |                           |  |                             |  |  |  |  |  |  |  | 19         |  |
|   |  |                           |  |                             |  |  |  |  |  |  |  | 43         |  |



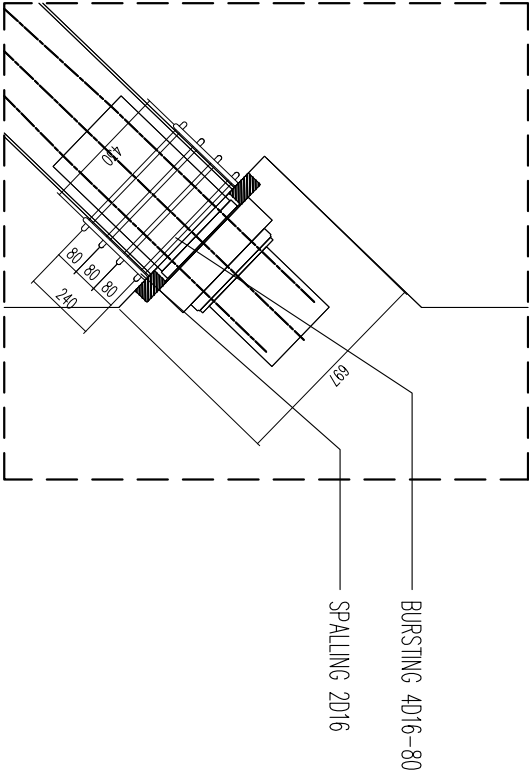






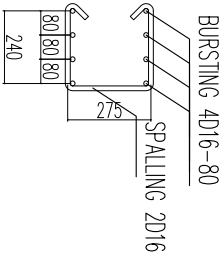
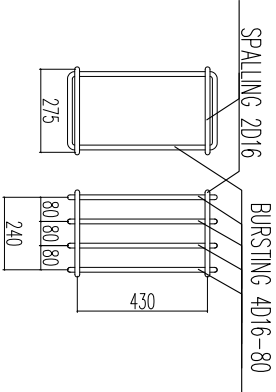
POTONGAN J-J

SKALA 1:100



DETAIL S4

SKALA 1:25



DETAIL TULANGAN BURSTING

SKALA 1:25

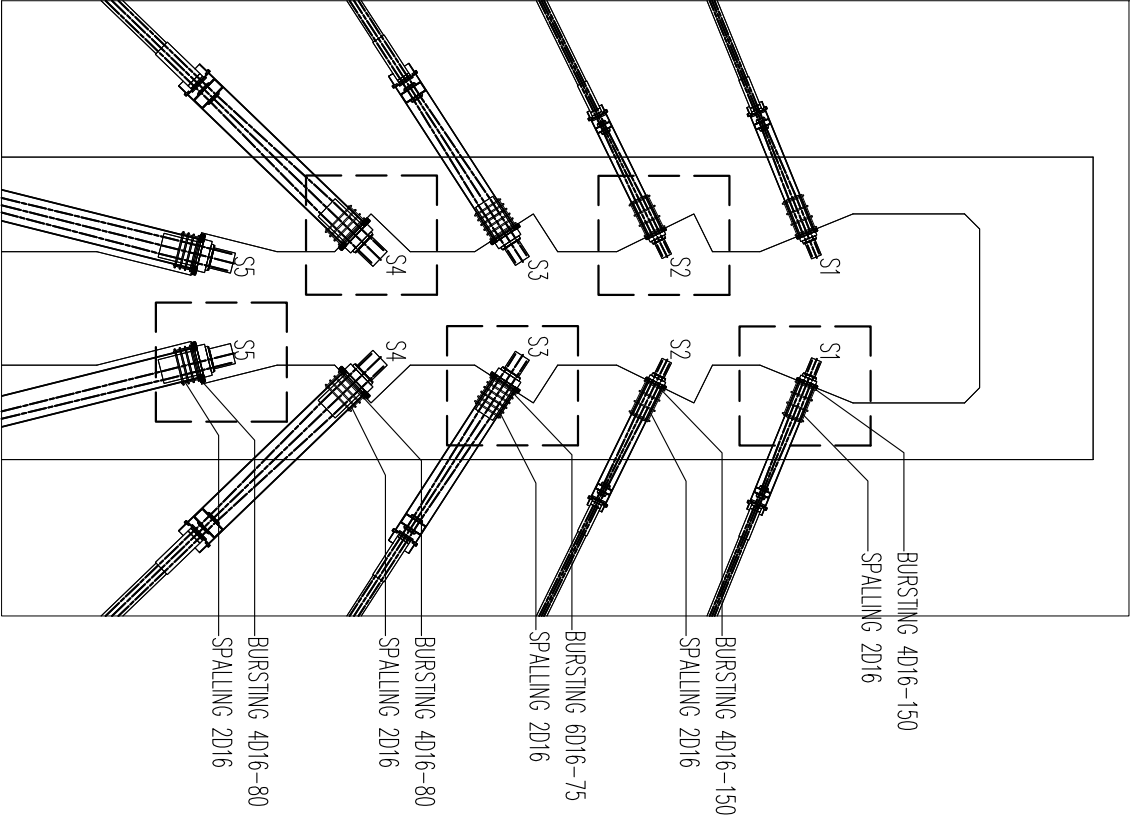
DETAIL TULANGAN SPALLING

SKALA 1:25

|  |  |   |  |                                       |  |   |                  |
|--|--|---|--|---------------------------------------|--|---|------------------|
| JUDUL TUGAS AKHIR  |  | JUDUL GAMBAR  |  | SKALA                                 | DIGAMBAR   | DIPERIKSA   | REVISI           |
| DESAIN STRUKTUR JEMBATAN TRUKUK<br>KABUPATEN BOJONEGORO DENGAN<br>MENGGUNAKAN METODE SEMI-HARP PATTERN<br>CABLE STAYED |  | POTONGAN J-J<br>DETAIL S4<br>DETAIL TULANGAN BURSTING<br>DETAIL TULANGAN SPALLING |  | 1 : 100<br>1 : 50<br>1 : 25<br>1 : 25 | MAHASISWA :<br>RIZAL NUR SYAMSU<br>NRP. 3114105038 | DOSEN PEMBIMBING :<br>Prof. JAYDI, ST, MT, Ph.D<br>NIP. 1970322/197021001<br>Dr. Ir. HIRNAYATI, S. A., MS<br>NIP. 19550325198031004 | KODE GBR<br>STR  |
|  |  |   |  |                                       |  |   | NO. GBR<br>22    |
|  |  |   |  |                                       |  |   | Jumlah Lbr<br>43 |

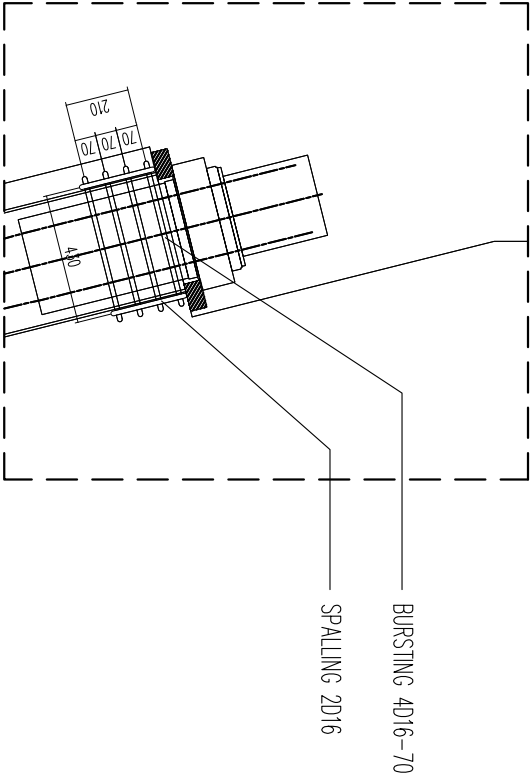


ITS  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember



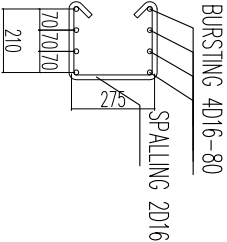
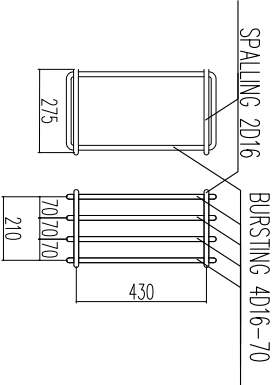
POTONGAN J-J

SKALA 1:100



DETAIL S5

SKALA 1:25




DETAIL TULANGAN BURSTING

SKALA 1:25

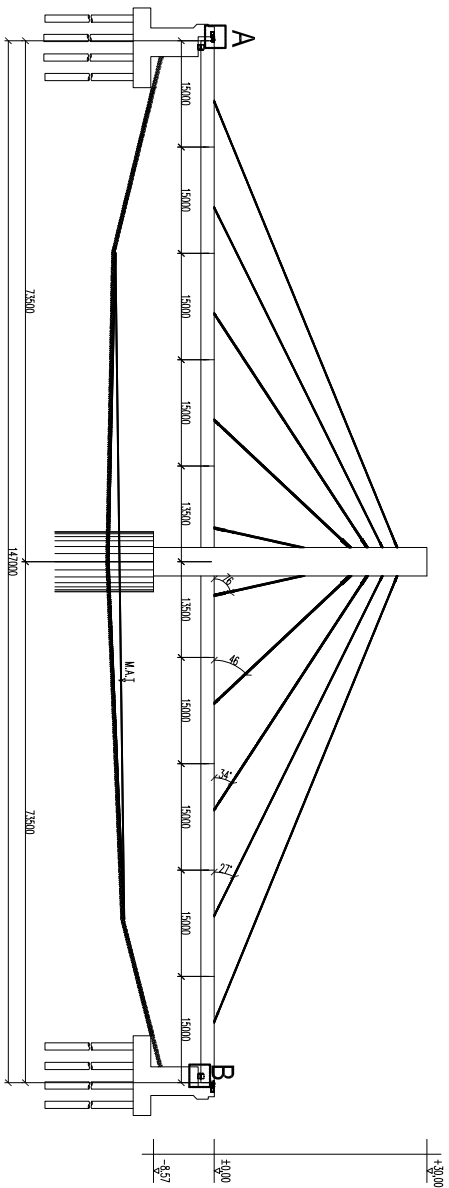
DETAIL TULANGAN SPALLING

SKALA 1:25

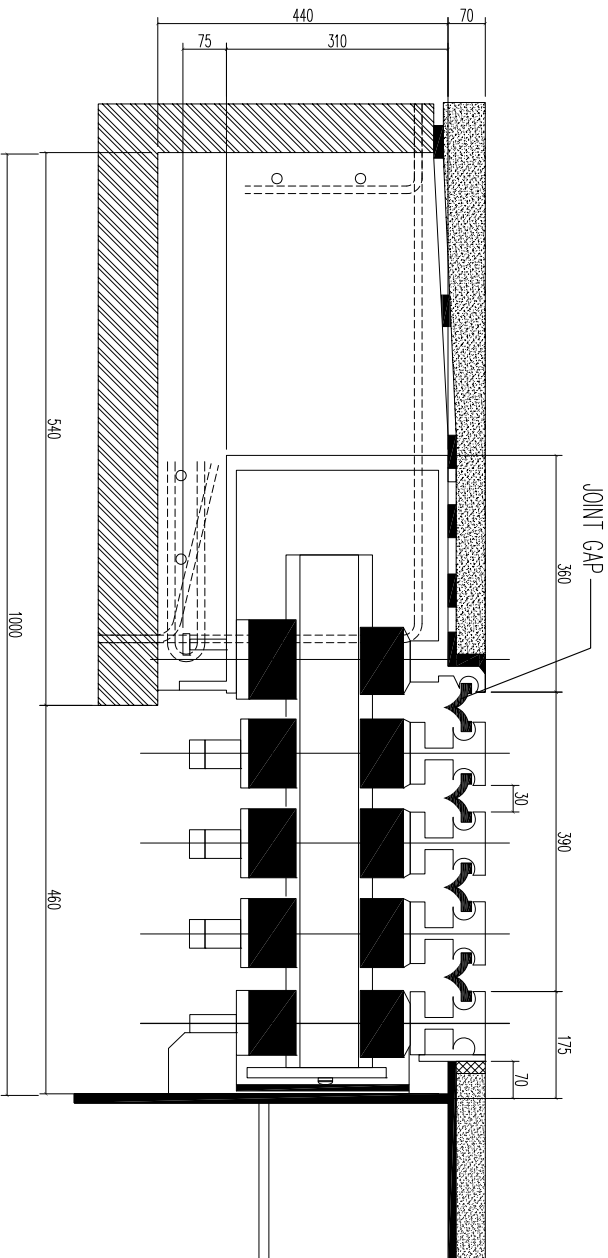
|   |  |   |  |                                       |  |  |        |  |  |
|---|--|---|--|---------------------------------------|--|--|--------|--|--|
| <br><b>ITS</b><br>Institut Teknologi<br>Sepuluh Nopember |  |   |  |                                       |  |  |        |  |  |
| JUDUL TUGAS AKHIR   |  | JUDUL GAMBAR  |  | SKALA                                 | DIGAMBAR   | DIPERIKSA  | REVISI |  |  |
| DESAIN STRUKTUR JEMBATAN TRUCUK<br>KABUPATEN BOJONEGORO DENGAN<br>MENGUNAKAN METODE SEMI-HARP PATTERN<br>CABLE STAYED                     |  | POTONGAN J-J<br>DETAIL S5<br>DETAIL TULANGAN BURSTING<br>DETAIL TULANGAN SPALLING |  | 1 : 100<br>1 : 50<br>1 : 25<br>1 : 25 | MAHASISWA :<br><br>RIZAL NUR SYAMSU<br>NRP. 3114105038 | DOSEN PEMBIMBING :<br><br>Prof. TAJID, ST, MT, Ph.D<br>NIP. 1970327197021001<br>Dr. Ir. HIRANYA T. S. A., MS<br>NIP. 19550327198031004 |        |  |  |
|   |  |   |  |                                       |  |  |        |  |  |
|   |  | KODE GBR  |  | NO. GBR                               |  | JUMLAH LBR   |        |  |  |
|   |  | STR   |  | 23                                    |  | 43   |        |  |  |



ITS  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember




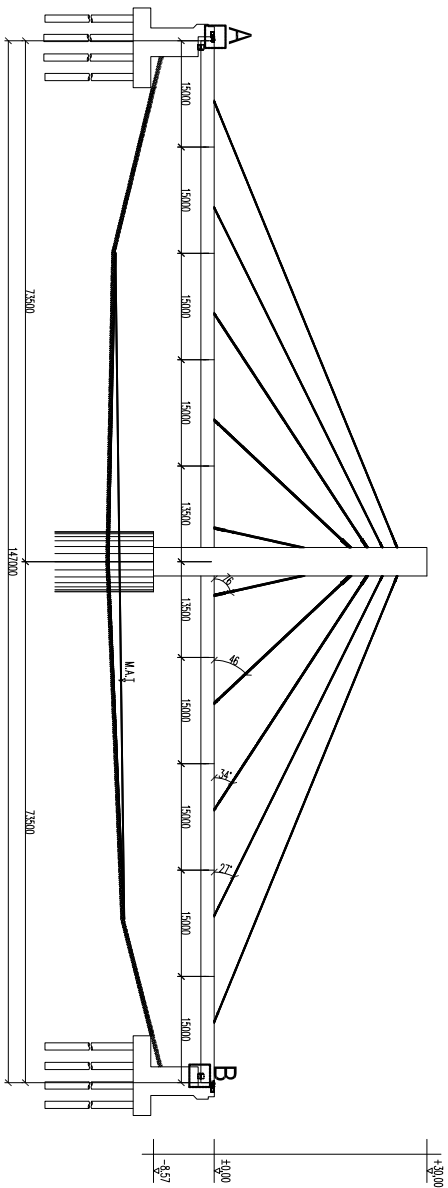
KEYPLAN



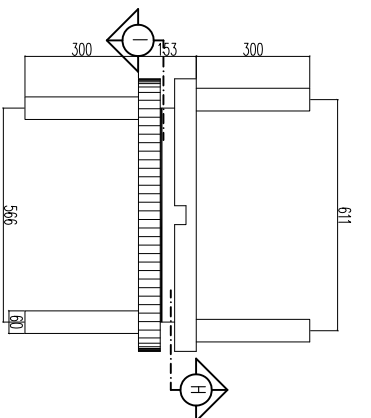
DETAIL A

SKALA 1:10

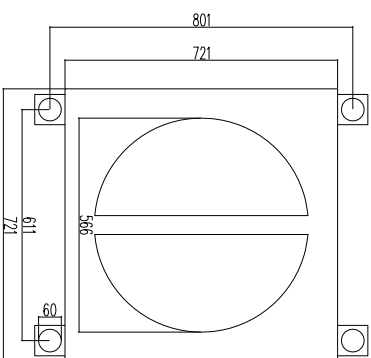
|   |  |                   |  |              |  |  |  |  |  |           |  |        |  |
|---|--|-------------------|--|--------------|--|--|--|--|--|-----------|--|--------|--|
| <br><b>ITS</b><br>Institut Teknologi<br>Sepuluh Nopember |  | JUDUL TUGAS AKHIR |  | JUDUL GAMBAR |  | SKALA  |  | DIGAMBAR   |  | DIPERIKSA |  | REVISI |  |
| DESAIN STRUKTUR JEMBATAN TRUCUK<br>KABUPATEN BOJONEGORO DENGAN<br>MENGUNAKAN METODE SEMI-HARP PATTERN<br>CABLE STAYED                   |  | DETAIL A          |  | 1 : 10       |  | MAHASISWA :<br><br>RIZAL NUR SYAMSU<br>NRP. 3114105038 |  | DOSEN PEMBIMBING :<br><br>Prof. J. JAWO, ST, MT, Ph.D<br>NIP. 1970327197021001<br><br>Dr. Ir. HENDAYAT S. A., MS<br>NIP. 19550221198031004 |  |           |  |        |  |
|   |  |                   |  |              |  |  |  |  |  |           |  |        |  |
|   |  |                   |  |              |  |  |  |  |  |           |  |        |  |
|   |  |                   |  |              |  |  |  |  |  |           |  |        |  |
|   |  |                   |  |              |  |  |  |  |  |           |  |        |  |
| KODE GBR  |  | NO. GBR           |  | JUMLAH LBR   |  |  |  |  |  |           |  |        |  |
| STR   |  | 24                |  | 43           |  |  |  |  |  |           |  |        |  |



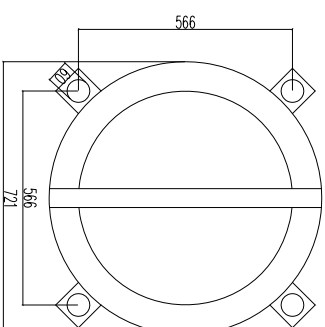
KEYPLAN



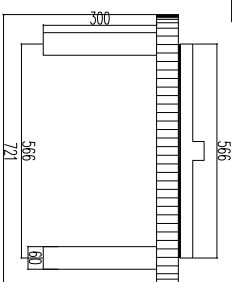
DETAIL B  
SKALA 1:10



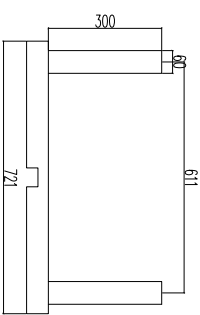
POTONGAN H-H  
SKALA 1:10




POTONGAN I-I  
SKALA 1:10

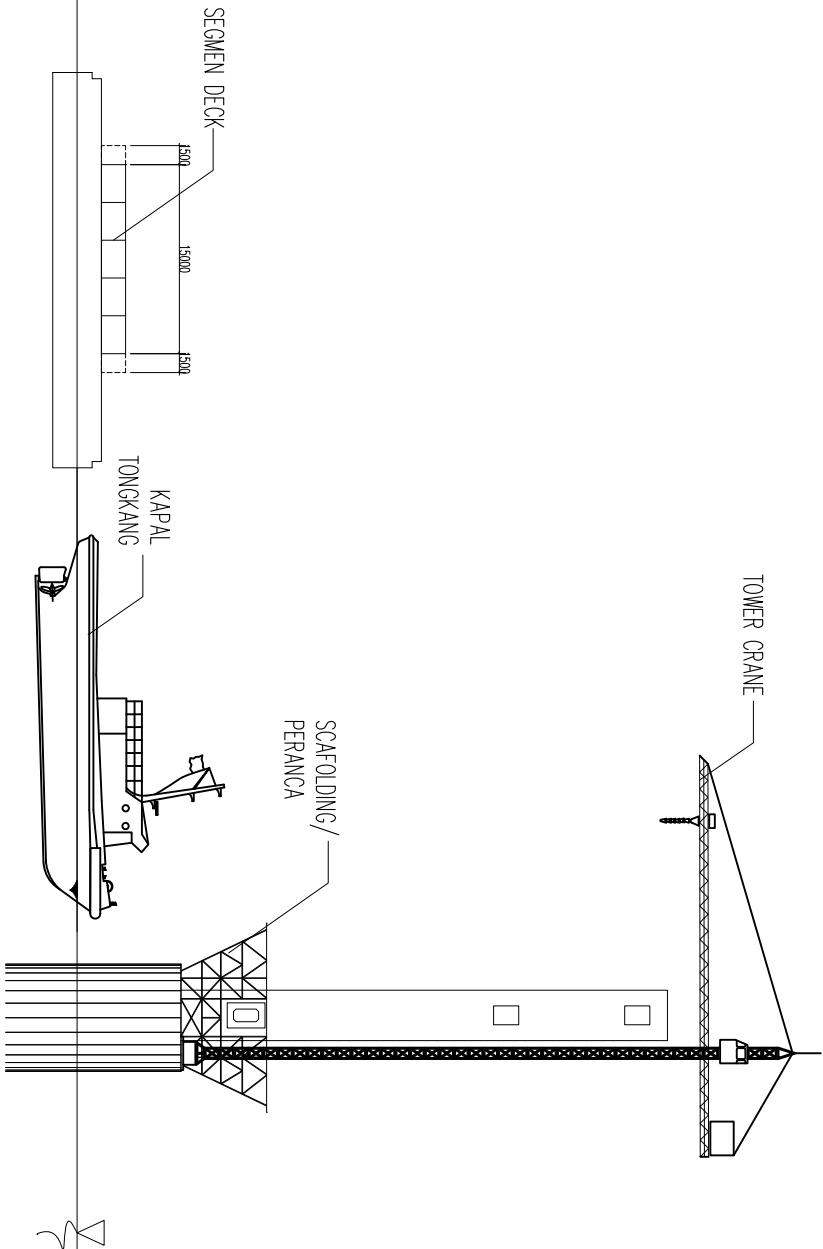


SISI BAWAH  
SKALA 1:10




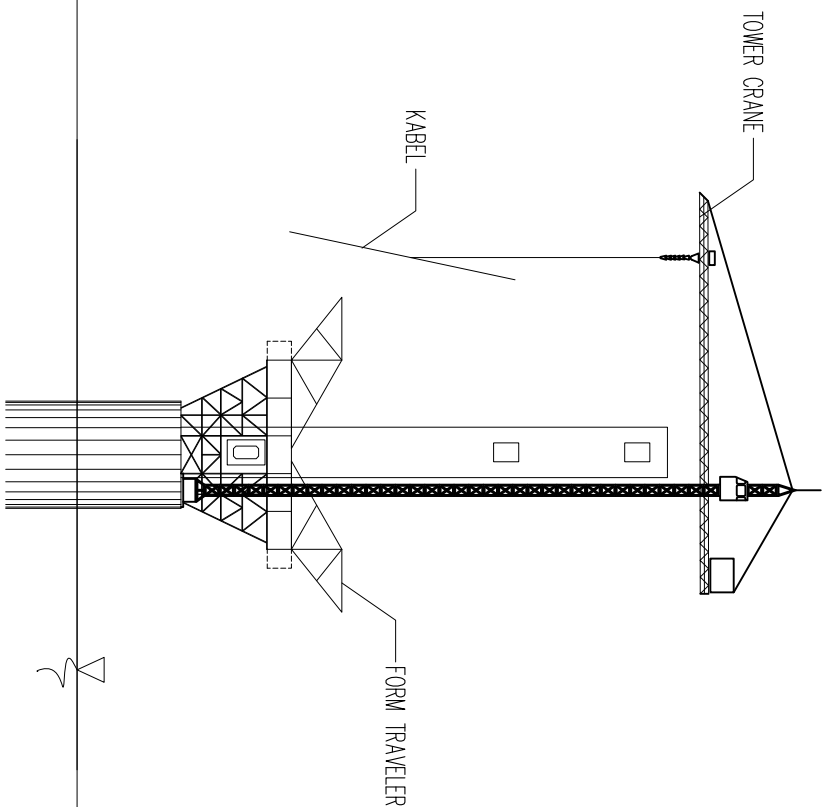
SISI ATAS  
SKALA 1:10

|  |  |              |        |   |  |                                   |  |  |
|--|--|--------------|--------|---|--|-----------------------------------|--|--|
| <br><b>ITS</b><br>Institut<br>Teknologi<br>Sepuluh Nopember | JUDUL TUGAS AKHIR  | JUDUL GAMBAR | SKALA  | DIGAMBAR  | DIPERIKSA  | REVISI                            |  |  |
|  | DESAIN STRUKTUR JEMBATAN TRUCUK<br>KABUPATEN BOJONEGORO DENGAN<br>MENGGUNAKAN METODE SEMI-HARP PATTERN<br>CABLE STAYED | DETAIL B     | 1 : 10 | MAHASISWA :<br><br>RIZAL NUR SYAMSU<br>NRP- 3114105038<br><br>SISI BAWAH<br><br>SISI ATAS | DOSEN PEMBIMBING :<br><u>Prof. YANDI ST. ARI, Ph.D</u><br><u>NIP-1970322197021001</u><br><br><u>Dr. Ir. HENDAYATI S. A., MS</u><br><u>NIP-1955032198031004</u> | KODE GBR<br>NO. GBR<br>JUMLAH LBR |  |  |
|  |  | POTONGAN H-H | 1 : 10 |   |  |                                   |  |  |
|  |  | POTONGAN I-I | 1 : 10 |   |  |                                   |  |  |
|  |  |              | 1 : 10 |   |  |                                   |  |  |
|  |  |              | STR    | 25  | 43   |                                   |  |  |




STAGE PENDIRIAN PYLON  
SKALA 1:500

|   |         |              |   |
|---|---------|--------------|---|
| <div><div><div><div>ITS</div><div>Institut Teknologi Sepuluh Nopember</div></div></div></div> |         | JUDUL GAMBAR | JUDUL TUGAS AKHIR   |
| 1 : 600   |         | SKALA        | STAGE PENDIRIAN PYLON   |
| MAHASISWA :<br>RIZAL NUR SYAMSU<br>NRP. 3114105038  |         | DIGAMBAR     | DESAIN STRUKTUR JEMBATAN TRUCUK<br>KABUPATEN BOJONEGORO DENGAN<br>MENGUNAKAN METODE SEMI-HARP PATTERN<br>CABLE STAYED |
| Dosen Pembimbing :<br>Prof. IZARD, ST, MT, Ph.D<br>NIP. 1970327197021001<br>Dr. Ir. HENDAYAT S. A., MS<br>NIP. 19550327198031004  |         | DIPERIKSA    |   |
| REVISI  |         |              |   |
| KODE GBR  | NO. GBR | Jumlah Lbr   |   |
| STR   | 26      | 43           |   |



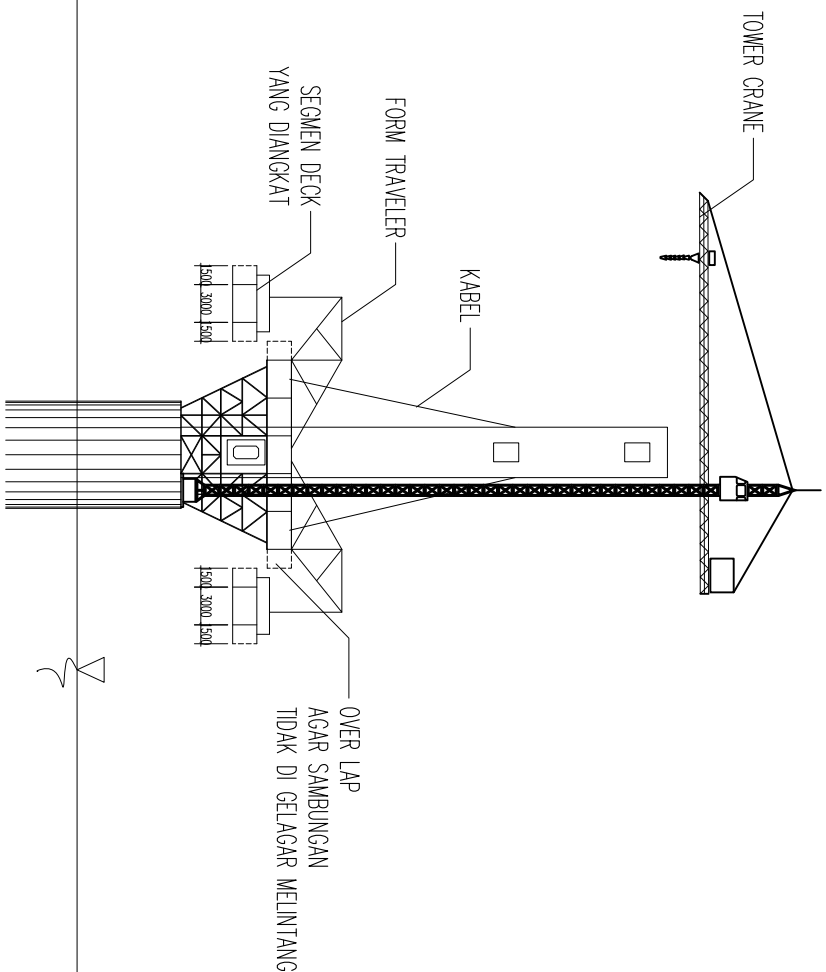
STAGE 1  
SKALA 1:500

|   |  |              |  |            |  |  |  |  |  |        |  |  |  |
|---|--|--------------|--|------------|--|--|--|--|--|--------|--|--|--|
| <div><div><b>ITS</b><br/>Institut Teknologi Sepuluh Nopember</div></div> |  |              |  |            |  |  |  |  |  |        |  |  |  |
| JUDUL TUGAS AKHIR   |  | JUDUL GAMBAR |  | SKALA      |  | DIGAMBAR   |  | DIPERIKSA  |  | REVISI |  |  |  |
| DESAIN STRUKTUR JEMBATAN TRUCUK<br>KABUPATEN BOJONEGORO DENGAN<br>MENGUNAKAN METODE SEMI-HARP PATTERN<br>CABLE STAYED                                     |  | STAGE 1      |  | 1 : 600    |  | MAHASISWA :<br><br>RIZAL NUR SYAMSU<br>NRP. 3114105038 |  | DOSEN PEMBIMBING :<br>Prof. JAYO, ST, MT, Ph.D<br>NIP. 1970327197021001<br>Dr. Ir. HENDAYATI, A., MS<br>NIP. 19550327198031004 |  |        |  |  |  |
|   |  |              |  |            |  |  |  |  |  |        |  |  |  |
|   |  |              |  |            |  |  |  |  |  |        |  |  |  |
| KODE GBR  |  | NO. GBR      |  | JUMLAH LBR |  |  |  |  |  |        |  |  |  |
| STR   |  | 27           |  | 43         |  |  |  |  |  |        |  |  |  |




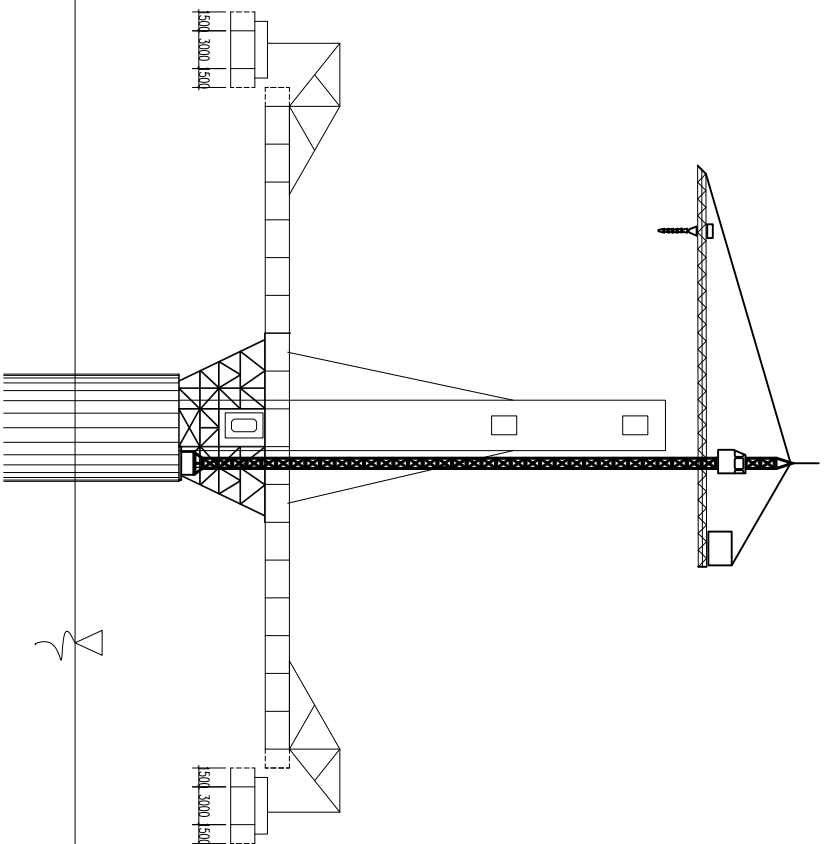
ITS  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember





STAGE 2  
SKALA 1:500

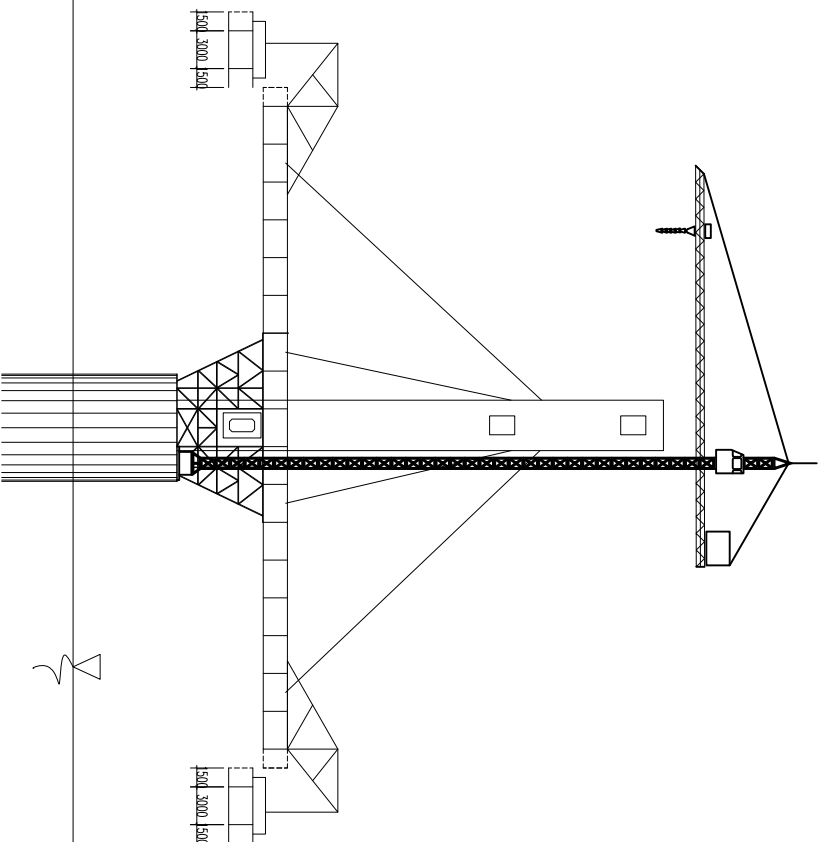
|   |  |              |         |  |   |        |         |            |
|---|--|--------------|---------|--|---|--------|---------|------------|
| <br><b>ITS</b><br>Institut Teknologi<br>Sepuluh Nopember | JUDUL TUGAS AKHIR  | JUDUL GAMBAR | SKALA   | DIGAMBAR   | DIPERIKSA   | REVISI |         |            |
|   | DESAIN STRUKTUR JEMBATAN TRUCUK<br>KABUPATEN BOJONEGORO DENGAN<br>MENGGUNAKAN METODE SEMI-HARP PATTERN<br>CABLE STAYED | STAGE 2      | 1 : 600 | MAHASISWA :<br><br>RIZAL NUR SYAMSU<br>NRP. 3114105038 | DOSIRN PEMBIMBING :<br><br>Prof. IZARD, ST, MT, Ph.D<br>NIP. 1970327197021001<br>Dr. Ir. HENDAYAT S. A., MS<br>NIP. 19550327198031004 |        |         |            |
|   | KODE GBR   |              |         |  |   |        | NO. GBR | JUMLAH LBR |
|   | STR  |              |         |  |   |        | 28      | 43         |
|   |  |              |         |  |   |        |         |            |



STAGE 3


SKALA 1:500

|   |  |              |         |  |   |          |         |            |
|---|--|--------------|---------|--|---|----------|---------|------------|
| JUDUL TUGAS AKHIR   |  | JUDUL GAMBAR | SKALA   | DIGAMBAR   | DIPERIKSA   | REVISI   |         |            |
| DESAIN STRUKTUR JEMBATAN TRUCUK<br>KABUPATEN BOJONEGORO DENGAN<br>MENGUNAKAN METODE SEMI-HARP PATTERN<br>CABLE STAYED |  | STAGE 3      | 1 : 600 | MAHASISWA :<br>RIZAL NUR SYAMSU<br>NRP. 3114105038 | DOSSEN PEMBIMBING :<br>Prof. IYANG ST. ANT. PH.D<br>NIP. 19703271997021001<br>Dr. Ir. HENDAYAT S. A. MS<br>NIP. 19550327198031004 |          |         |            |
|   |  |              |         |  |   | KODE GBR | NO. GBR | JUMLAH LBR |
|   |  |              |         |  |   | STR      | 29      | 43         |



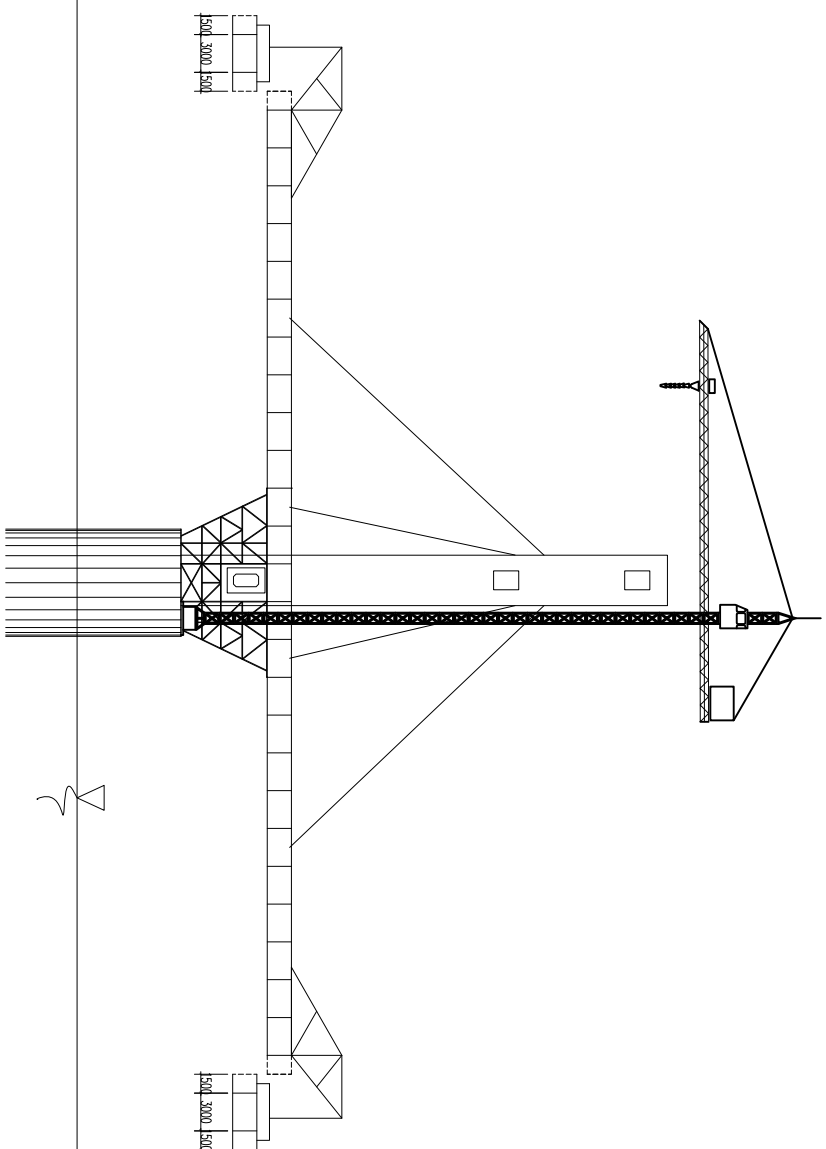
STAGE 4

SKALA 1:500

|   |  |              |         |  |   |        |  |  |  |  |  |
|---|--|--------------|---------|--|---|--------|--|--|--|--|--|
| <div><div><b>ITS</b><br/>Institut Teknologi<br/>Sepuluh Nopember</div></div> |  |              |         |  |   |        |  |  |  |  |  |
| JUDUL TUGAS AKHIR   |  | JUDUL GAMBAR | SKALA   | DIGAMBAR   | DIPERIKSA   | REVISI |  |  |  |  |  |
| DESAIN STRUKTUR JEMBATAN TRUCUK<br>KABUPATEN BOJONEGORO DENGAN<br>MENGUNAKAN METODE SEMI-HARP PATTERN<br>CABLE STAYED   |  | STAGE 4      | 1 : 600 | MAHASISWA :<br><br>RIZAL NUR SYAMSU<br>NRP. 3114105038 | DOSEN PEMBIMBING :<br><br>Prof. IYANG ST. ANT. PH.D<br>NIP. 19703271997021001<br>Dr. Ir. HENDAYATI S. A. MS<br>NIP. 19550327198031004 |        |  |  |  |  |  |
|   |  | KODE GBR     | NO. GBR | JUMLAH LBR   |   |        |  |  |  |  |  |
|   |  | STR          | 30      | 43   |   |        |  |  |  |  |  |





ITS  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember



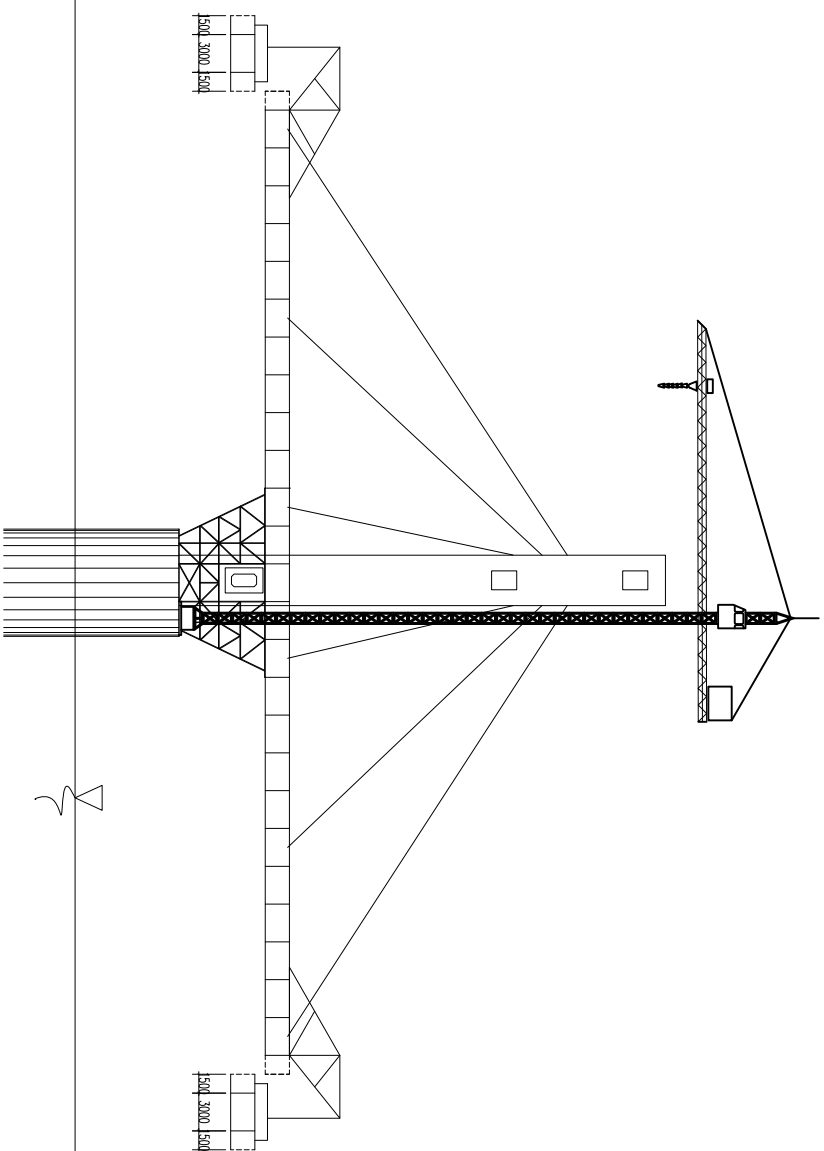
## STAGE 5

SKALA 1:600

|  |  |   |         |              |         |  |   |        |  |  |
|--|--|---|---------|--------------|---------|--|---|--------|--|--|
| <br>Institut Teknologi Sepuluh Nopember |  | JUDUL TUGAS AKHIR   |         | JUDUL GAMBAR | SKALA   | DIGAMBAR   | DIPERIKSA   | REVISI |  |  |
| <br>Institut Teknologi Sepuluh Nopember |  | DESAIN STRUKTUR JEMBATAN TRUCUK<br>KABUPATEN BOJONEGORO DENGAN<br>MENGUNAKAN METODE SEMI-HARP PATTERN<br>CABLE STAYED |         | STAGE 5      | 1 : 600 | MAHASISWA :<br>RIZAL NUR SYAMSU<br>NRP. 3114105038 | DOSEN PEMBIMBING :<br>Prof. IYANG, ST, MT, Ph.D<br>NIP. 19703271997021001<br>Dr. Ir. HENDAYAT S. A., MS<br>NIP. 19550325198031004 |        |  |  |
|  |  |   |         |              |         |  |   |        |  |  |
|  |  |   |         |              |         |  |   |        |  |  |
|  |  |   |         |              |         |  |   |        |  |  |
|  |  | KODE GBR  | NO. GBR | JUMLAH LBR   |         |  |   |        |  |  |
|  |  | STR   | 31      | 43           |         |  |   |        |  |  |



ITS  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember



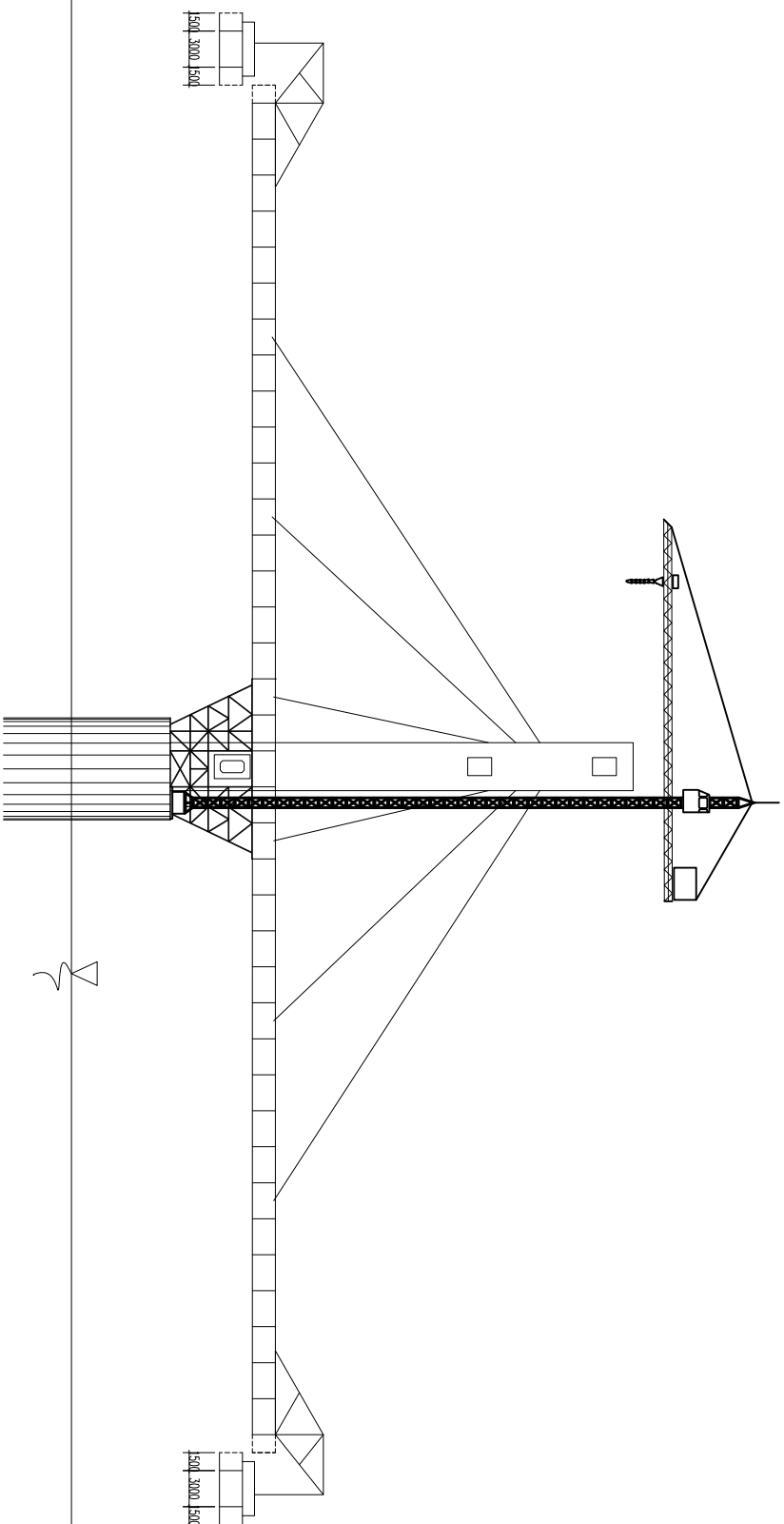
STAGE 6

SKALA 1:500

|   |  |              |         |  |  |          |         |            |
|---|--|--------------|---------|--|--|----------|---------|------------|
| JUDUL TUGAS AKHIR   |  | JUDUL GAMBAR | SKALA   | DIGAMBAR   | DIPERIKSA  | REVISI   |         |            |
| DESAIN STRUKTUR JEMBATAN TRUCUK<br>KABUPATEN BOJONEGORO DENGAN<br>MENGUNAKAN METODE SEMI-HARP PATTERN<br>CABLE STAYED |  | STAGE 6      | 1 : 600 | MAHASISWA :<br>RIZAL NUR SYAMSU<br>NRP. 3114105038 | DOSEN PEMBIMBING :<br>Prof. IYANG ST. ANI, Ph.D<br>NIP. 19703271997021001<br>Dr. Ir. HENDAYATI S. A., MS<br>NIP. 19550325198031004 |          |         |            |
|   |  |              |         |  |  |          |         |            |
|   |  |              |         |  |  | KODE GBR | NO. GBR | JUMLAH LBR |
|   |  |              |         |  |  | STR      | 32      | 43         |



ITS  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember



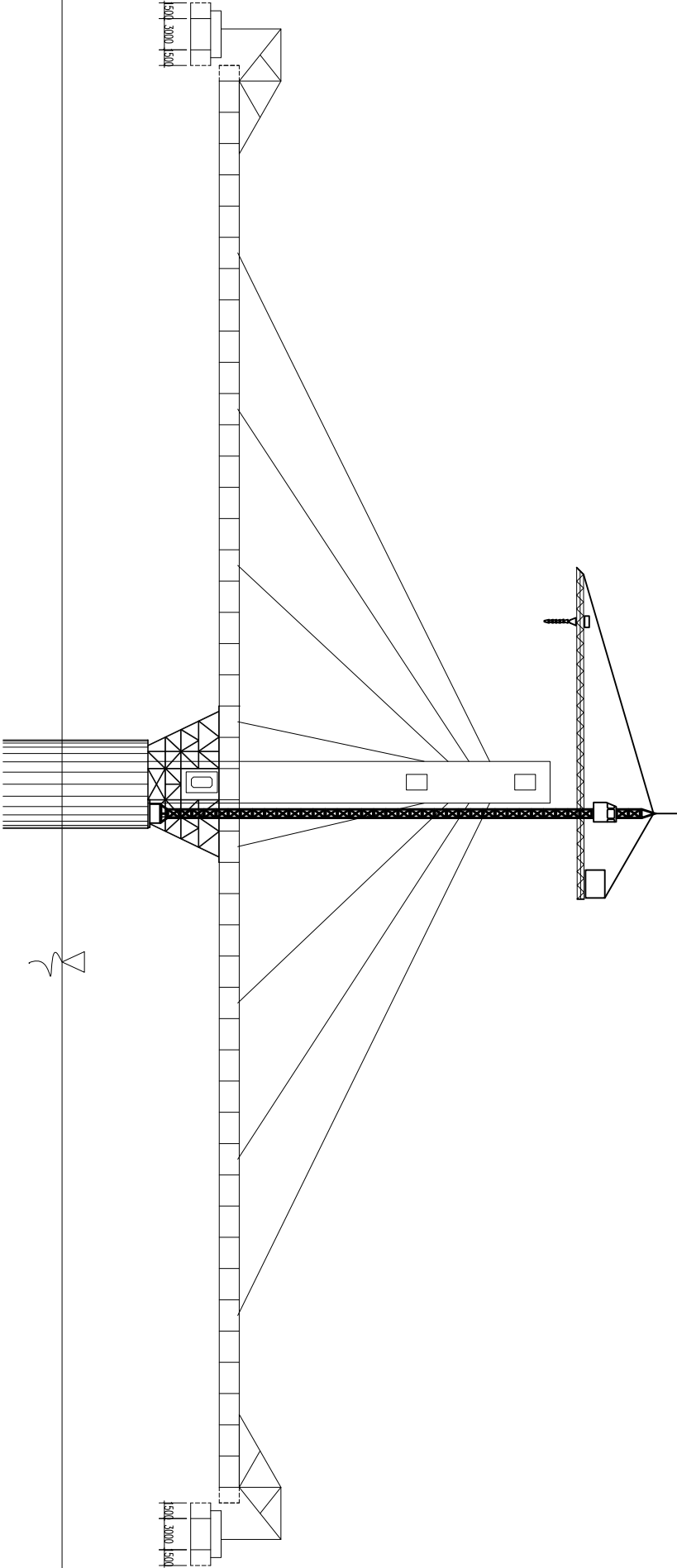
STAGE 7

SKALA 1:600

|   |  |              |         |  |  |          |         |            |
|---|--|--------------|---------|--|--|----------|---------|------------|
| JUDUL TUGAS AKHIR   |  | JUDUL GAMBAR | SKALA   | DIGAMBAR   | DIPERIKSA  | REVISI   |         |            |
| DESAIN STRUKTUR JEMBATAN TRUCUK<br>KABUPATEN BOJONEGORO DENGAN<br>MENGUNAKAN METODE SEMI-HARP PATTERN<br>CABLE STAYED |  | STAGE 7      | 1 : 600 | MAHASISWA :<br>RIZAL NUR SYAMSU<br>NRP. 3114105038 | DOSEN PEMBIMBING :<br>Prof. .TAMU, ST, MT, Ph.D<br>NIP.1970327197021001<br>Dr. Ir. HENDAYAT S. A., MS<br>NIP.19550227198031004 |          |         |            |
|   |  |              |         |  |  | KODE GBR | NO. GBR | JUMLAH LBR |
|   |  |              |         |  |  | STR      | 33      | 43         |








STAGE 9

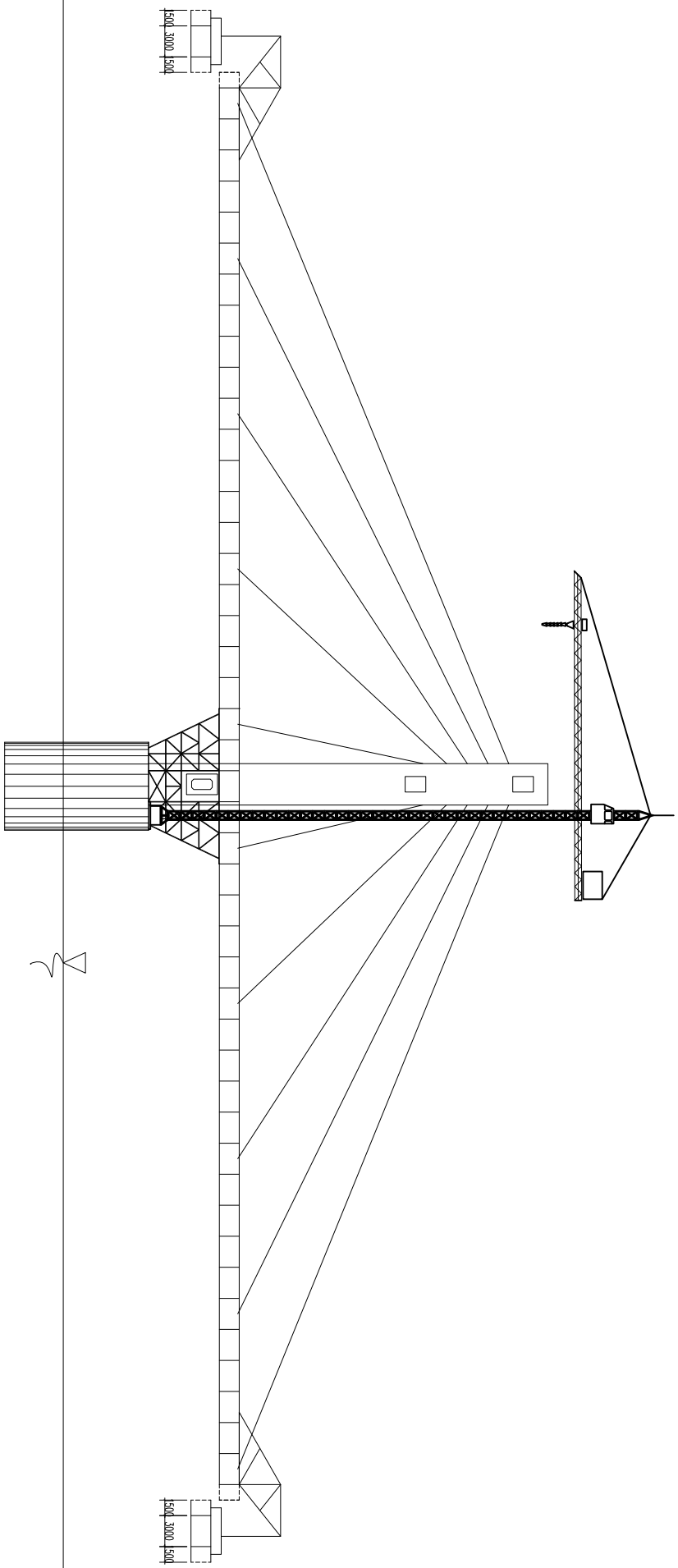
SKALA 1:600

|  |  |              |  |            |  |  |  |   |  |        |  |
|--|--|--------------|--|------------|--|--|--|---|--|--------|--|
|  <div>ITS<br/>Institut Teknologi<br/>Sepuluh Nopember</div> |  |              |  |            |  |  |  |   |  |        |  |
| JUDUL TUGAS AKHIR  |  | JUDUL GAMBAR |  | SKALA      |  | DIGAMBAR   |  | DIPERIKSA   |  | REVISI |  |
| DESAIN STRUKTUR JEMBATAN TRUCUK<br>KABUPATEN BOJONEGORO DENGAN<br>MENGUNAKAN METODE SEMI-HARP PATTERN<br>CABLE STAYED                        |  | STAGE 9      |  | 1 : 600    |  | MAHASISWA :<br><br>RIZAL NUR SYAMSU<br>NRP. 3114105038 |  | DOSEN PEMBIMBING :<br>Prof. TAMU, ST, MT, Ph.D<br>NIP.1970327197021001<br>Dr. Ir. HENDAYAT S. A., MS<br>NIP.19550327198031004 |  |        |  |
|  |  |              |  |            |  |  |  |   |  |        |  |
|  |  |              |  |            |  |  |  |   |  |        |  |
| KODE GBR   |  | NO. GBR      |  | JUMLAH LBR |  |  |  |   |  |        |  |
| STR  |  | 35           |  | 43         |  |  |  |   |  |        |  |




Institut Teknologi Sepuluh Nopember





## STAGE 10

SKALA 1:600

|   |   |              |         |  |  |                 |               |
|---|---|--------------|---------|--|--|-----------------|---------------|
| <br><b>ITS</b><br>Institut Teknologi<br>Sepuluh Nopember | JUDUL TUGAS AKHIR   | JUDUL GAMBAR | SKALA   | DIGAMBAR   | DIPERIKSA  | REVISI          |               |
|   | DESAIN STRUKTUR JEMBATAN TRUCUK<br>KABUPATEN BOJONEGORO DENGAN<br>MENGGUNAKAN METODE DEE-HARP PATTERN<br>CABLE STAYED | STAGE 10     | 1 : 600 | MAHASISWA :<br><br>RIZAL NUR SYAMSU<br>NRP. 3114105038 | DOSEN PEMBIMBING :<br><br>Prof. TAWO, ST, MT, Ph.D<br>NIP. 1970032719970201001 | KODE GBR<br>STR | NO. GBR<br>36 |

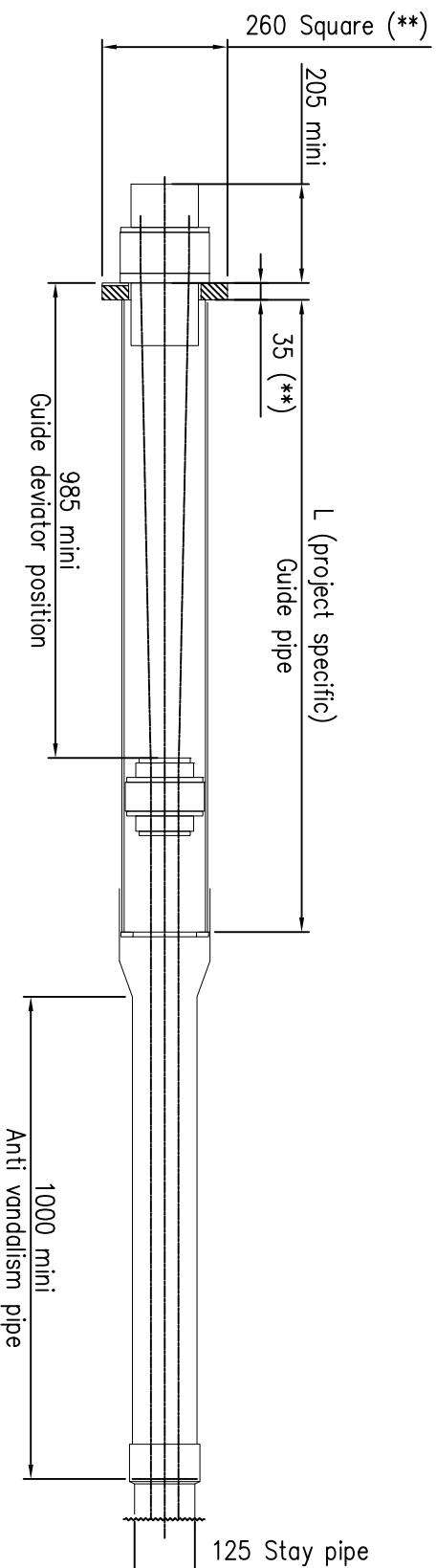




# GENERAL ASSEMBLY STAY CABLE SYSTEM SSI 2000

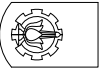
## DEAD END ANCHORAGE DECK DS 6-12

Ver 1 - 27.03.2002



Dimension according to SSI 2000 standard anchorage

(\*\*) Bearing Plate dimension are valid for nominal concrete strength 45MPa (cube),  
36MPa (cylinder) at the time of stressing

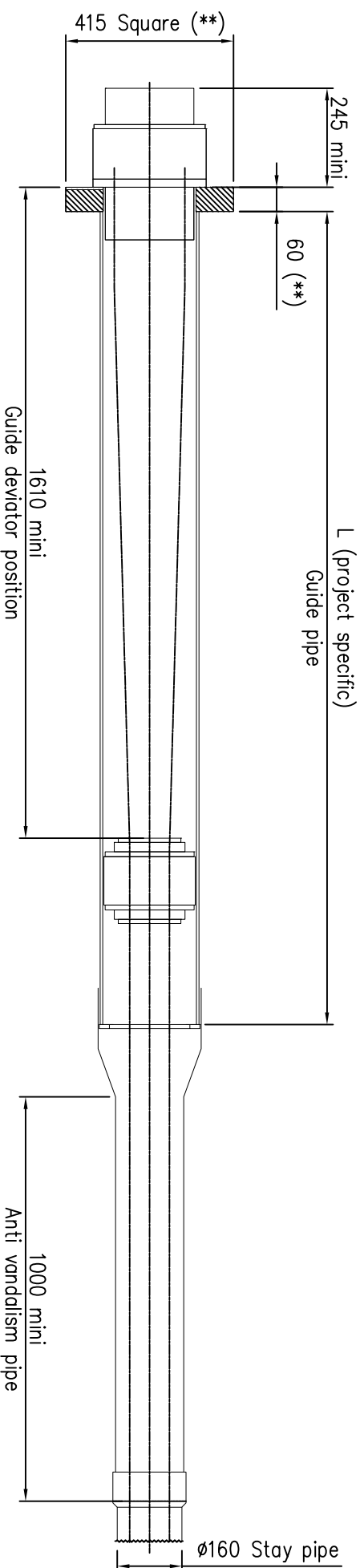
|   |  |                          |  |       |  |   |            |  |  |
|---|--|--------------------------|--|-------|--|---|------------|--|--|
| <br>ITS<br>Institut Teknologi<br>Sepuluh Nopember |  | JUDUL GAMBAR             |  | SKALA | DIGAMBAR   | DIPERIKSA   | REVISI     |  |  |
| JUDUL TUGAS AKHIR   |  | JUDUL GAMBAR             |  | SKALA | DIGAMBAR   | DIPERIKSA   | REVISI     |  |  |
| DESAIN STRUKTUR JEMBATAN TRUCUK<br>KABUPATEN BOJONEGORO DENGAN<br>MENGGUNAKAN METODE SEMI-HARP PATTERN<br>CABLE STAYED            |  | DETAIL ANCHORAGE DECK 12 |  | 1 : 1 | MAHASISWA :<br>RIZAL NUR SYAMSU<br>NRP. 3114105038 | DOSSEN PEMBIMBING :<br>Prof. TAWO, ST, MT, Ph.D<br>NRP. 1970327197021001<br>Dr. Ir. HENDAYAT S. A., MS<br>NRP. 1955025198031004 | KODE GBR   |  |  |
|   |  |                          |  |       |  |   | NO. GBR    |  |  |
|   |  |                          |  |       |  |   | Jumlah LBR |  |  |
|   |  |                          |  |       |  |   | 38         |  |  |
|   |  |                          |  |       |  |   | 43         |  |  |



# GENERAL ASSEMBLY STAY CABLE SYSTEM SSI 2000


## DEAD END ANCHORAGE DECK DS 6-31

Ver 1 - 27.03.2002



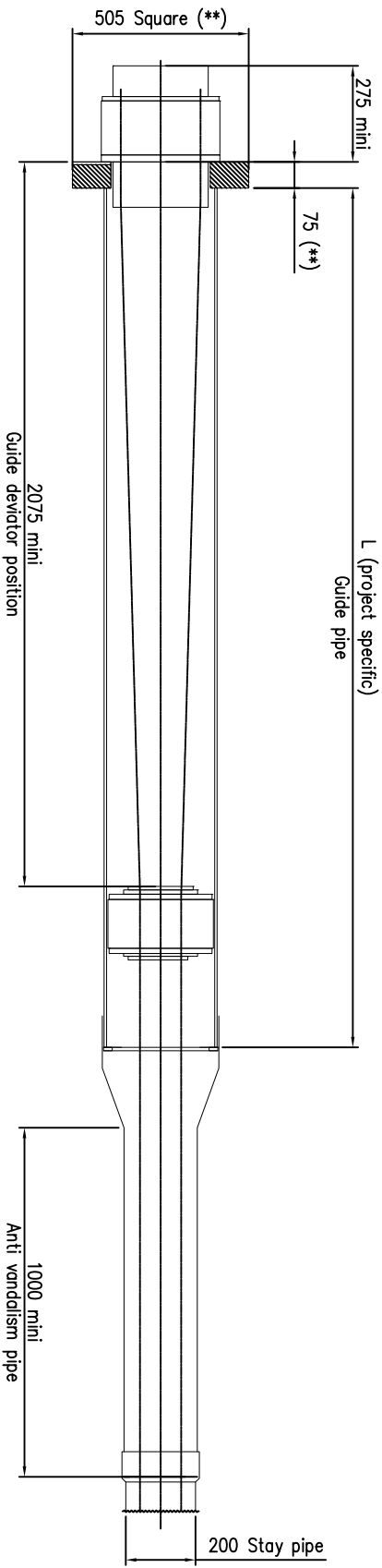
Dimension according to SSI 2000 standard anchorage

(\*\*) Bearing Plate dimension are valid for nominal concrete strength 45MPa (cube), 36MPa (cylinder) at the time of stressing

|  |  |                          |  |              |  |  |  |   |  |            |  |         |  |
|--|--|--------------------------|--|--------------|--|--|--|---|--|------------|--|---------|--|
| <br>ITS<br>Institut Teknologi<br>Sepuluh Nopember |  | JUDUL TUGAS AKHIR        |  | JUDUL GAMBAR |  | SKALA  |  | DIGAMBAR  |  | DIPERIKSA  |  | REVISI  |  |
| DESAIN STRUKTUR JEMBATAN TRUCUK<br>KABUPATEN BOJONEGORO DENGAN<br>MENGGUNAKAN METODE SEMI-HARP PATTERN<br><br>CABLE STAYED       |  | DETAIL ANCHORAGE DECK 31 |  | 1 : 1        |  | MAHASISWA :<br><br>RIZAL NUR SYAMSU<br>NRP. 3114105038 |  | DOSEN PEMBIMBING :<br><br>Prof. TAWO, ST., MT., PhD<br>NRP. 19703271979021001<br>Dr. Ir. HENDAYAT S. A., MS<br>NRP. 19550251980031004 |  | KODE GBR   |  | NO. GBR |  |
|  |  |                          |  |              |  |  |  |   |  | STR        |  | 39      |  |
|  |  |                          |  |              |  |  |  |   |  | Jumlah Lbr |  | 43      |  |



GENERAL ASSEMBLY  
STAY CABLE SYSTEM SSI 2000  
DEAD END ANCHORAGE DECK DS 6-43  
Ver 1 - 27.03.2002



Dimension according to SSI 2000 standard anchorage

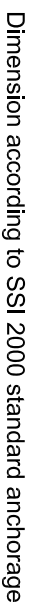
(\*\*) Bearing Plate dimension are valid for nominal concrete strength 45MPa (cube), 36MPa (cylinder) at the time of stressing

|   |   |                          |            |  |   |        |  |  |
|---|---|--------------------------|------------|--|---|--------|--|--|
| <br><b>ITS</b><br>Institut Teknologi<br>Sepuluh Nopember | JUDUL TUGAS AKHIR   | JUDUL GAMBAR             | SKALA      | DIGAMBAR   | DIPERIKSA   | REVISI |  |  |
|   | DESAIN STRUKTUR JEMBATAN TRUCUK<br>KABUPATEN BOJONEGORO DENGAN<br>MENGUNAKAN METODE SEMI-HARP PATTERN<br>CABLE STAYED | DETAIL ANCHORAGE DECK 43 | 1 : 1      | MAHASISWA :<br><br>RIZAL NUR SYAMSU<br>NRP. 3114105038 | DOSEN PEMBIMBING :<br><br>Prof. TAWO, ST, MT, Ph.D<br>NRP. 1970327197021001<br>Dr. Ir. HENDAYAT S. A. MS<br>NRP. 1955025198031004 |        |  |  |
|   |   |                          |            |  |   |        |  |  |
|   |   |                          |            |  |   |        |  |  |
|   |   |                          |            |  |   |        |  |  |
|   | KODE GBR  | NO. GBR                  | JUMLAH LBR |  |   |        |  |  |
|   | STR   | 40                       | 43         |  |   |        |  |  |




# STRESSING END ANCHORAGE PYLON DRT 6-12

Ver 1 - 25.03.2002




(\*\*) Bearing Plate dimension are valid for nominal concrete strength 45MPa (cube), 36MPa (cylinder) at the time of stressing


|  |   |  |  |   |           |         |            |  |
|--|---|--|--|---|-----------|---------|------------|--|
| <div><b>ITS</b><br/>Institut<br/>Teknologi<br/>Sepuluh Nopember</div> | JUDUL TUGAS AKHIR   | JUDUL GAMBAR                           | SKALA  | DIGAMBAR  | DIPERIKSA | REVISI  |            |  |
|  | DESAIN STRUKTUR JEMBATAN TRUCUK<br>KABUPATEN BOJONEGORO DENGAN<br>MENGGUNAKAN METODEO SEMI-HARP PATTERN<br>CABLE STAYED | DETAIL ANCHORAGE PYLON 12<br><br>1 : 1 | MAHASISWA :<br><br>RIZAL NUR SYAMSU<br>NRP. 3114105038 | DOSEN PEMBIMBING :<br>Prof. TAVIO, ST.MT., Ph.D<br>NRP.197002319979021001<br>Dr. H. HIDAYAT S. A., MS<br>NRP.195503231980031004 | KODE GBR  | NO. GBR | JUMLAH LBR |  |
|  |   |  |  |   | STR       | 41      | 43         |  |

# STRESSING END ANCHORAGE PYLON DRT 6-31

Ver 1 - 25.03.2002



|   |  |                           |       |   |   |            |
|---|--|---------------------------|-------|---|---|------------|
| <br><b>ITS</b><br>Institut Teknologi<br>Sepuluh Nopember | JUDUL TUGAS AKHIR  | JUDUL GAMBAR              | SKALA | DIGAMBAR  | DIFERENSKA  | REVISI     |
|   | DESAIN STRUKTUR JEMBATAN TRUSCUK<br>KAPALPATEN BOJONEGORO DENGAN<br>MENGGUNAKAN METODE SEMI-HARP PATTERN<br>CABLE STAYED | DETAIL ANCHORAGE Pylon 31 | 1 : 1 | MAHASISWA :<br><br>RIZAL NUBIS SYAMSU<br>NRP. :3114105038 | DOSEN PEMBIMBING :<br><br>Prof. I. JAWO, ST., MT., Ph.D<br>NRP. :197003271997021001<br>Dr. H. HIDAYAT S. W., MS<br>NRP. :195503251980031004 | KODE GBR   |
|   |  |                           |       |   |   | NO. GBR    |
|   |  |                           |       |   |   | JUMLAH LBR |
|   |  |                           |       |   |   | STR        |
|   |  |                           |       |   |   | 42         |
|   |  |                           |       |   |   | 43         |

|   |  |                           |       |   |  |          |         |            |
|---|--|---------------------------|-------|---|--|----------|---------|------------|
| <br><b>ITS</b><br>Institut Teknologi<br>Sepuluh Nopember | JUDUL TUGAS AKHIR  | JUDUL GAMBAR              | SKALA | DIGAMBAR  | DIREKSIKA  | REVISI   |         |            |
|   | DESAIN STRUKTUR JEMBATAN TRUCUK<br>KAPALPATEN BOJONEGORO DENGAN<br>MENGGUNAKAN METODE SEM-HAMP PATTERN<br>CABLE STAYED | DETAIL ANCHORAGE PYLON 43 | 1 : 1 | MAHASISWA :<br><br>RIZAL NUBIS SYAMSU<br>NRP. :3114105038 | DOSEN PEMBIMBING :<br><br>Prof. I. YANO, ST., MT., Ph.D<br>NIP. :197003271997021001<br><br>Dr. R. HIDAYAT S., M., MS<br>NIP. :195503251980031004 | KODE GBR | NO. GBR | JUMLAH LBR |
|   |  |                           |       |   |  | STR      | 43      | 43         |



# VSL SSI 2000 STAY CABLE SYSTEM



DESIGN  
ENGINEERING  
SUPPLY  
INSTALLATION  
MONITORING

# VSL LEADS THE WAY WITH A NEW STAY CABLE TECHNOLOGY



Uddevalla Bridge – Sweden, 1998 Stay cables installed strand-by-strand and equipped with anti-vibration friction dampers.



Sunshine Skyway Bridge – USA, 1986  
Supply of post-tensioning and stay cables. Cables anchored to the pylon by saddles and equipped with hydraulic dampers.

## VSL, a specialist stay cable contractor

Leader in the field of post-tensioning and related engineering, VSL operates as a world-wide network through 40 subsidiaries located on 5 continents. Its post-tensioning systems have been used throughout the world since 1956, earning a well-merited reputation for their quality and efficiency.

The SSI 2000 system reflects VSL's development of stay cable technology to provide the best solution for ever-changing and complex engineering requirements. The system offers high fatigue resistance, excellent corrosion protection, cable force monitoring, as well as strand adjustability, inspectability and replaceability. VSL can now deliver even faster installation and erection cycles.

## Increasing spanning dimensions

Because of their structural and economic advantages, more cable-stayed structures such as footbridges, bridges and suspended roofs have been built over the last 30 years. Achievable spans dimensions have also considerably increased.

Stay cables used to be factory-manufactured and assembled from parallel or locked coil wires. Then, a high-quality seven-wire prestressing strand was developed for stay-cable applications. It was used in prefabricated stay cables installed in bridges using heavy equipment. These strands are placed in a steel or HDPE pipe and protected by cement grouting. Since the performance of a cable-stayed structure essentially depends on its stay cable properties, it became necessary to improve the





technology and develop new, modern stay cable systems able to meet demands such as increased span lengths and durability.

### Stringent new standards

Modern engineering is setting stringent new standards for cable-stayed bridge systems. Designers and authorities throughout the world are demanding:

- Increased stay cable durability: Critical factors are corrosion protection, good anchorage conditions, easy inspection and maintenance, replaceability and prevention of cable vibration.
- Outstanding fatigue and static load performance levels (200MPa and 300MPa stress range fatigue test for the SSI 2000 anchorage assembly and its components respectively).

- Improved aesthetics, such as the use of coloured cables.
- Integration of damping systems into the anchorage.

Main contractors benefit from optimal construction schedules thanks to:

- A design which takes into account the tight interaction between the deck erection and the stay cable installation.
- Light equipment for installation works, allowing easier operations and flexibility.

Clients benefit from integration of enhanced durability protection and easier long-term maintenance, which can provide clients with substantial savings.

The VSL SSI 2000 stay cable system is designed to meet these requirements.



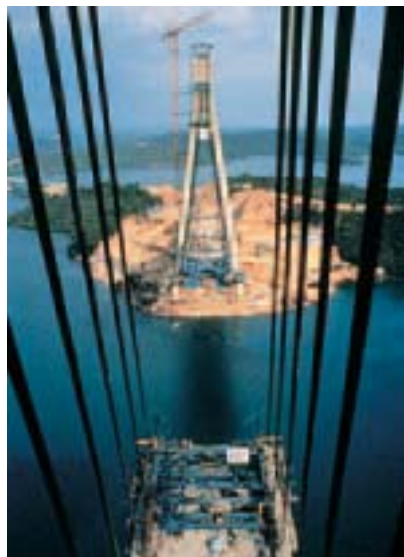
**Alamo Dome Stadium Roof – USA, 1993**  
A typical use of stay cables for suspended roofs.



**Ben Ahin Bridge – Belgium, 1988**  
Rotation of the entire bridge after stay cable installation.



**Barrios de Luna Bridge – Spain, 1983**  
The cable strands are protected by grouting inside the stay pipe.



**Batam Tonton Bridge – Indonesia, 1997**  
Package: design, supply and installation of stay cables, deck form-travellers and pylon formwork. Construction engineering for the superstructure construction.



**Koshiki Daimyojin Bridge – Japan, 1993**  
Technical consultation and supply of the prefabricated stay cables.

### VSL products and services

Stay cable structures provide owners and architects with a high level of design freedom. As a specialist stay cable contractor, VSL provides comprehensive technical assistance from the earliest stage of the preliminary studies right through to the detailed design and construction phases:

- consulting service to owners, engineers and contractors
- static analysis of the structure
- assistance in the dynamic analysis of cable vibrations and recommendation of solutions
- detailed design of the structure with optimised use of the stay cable system
- construction engineering
- geometry control during construction and final adjustment
- method statements for the construction of the structure and cable installation
- supply and installation of stay cables, with incorporation of monitoring and anti-vibration systems
- design and supply of special equipment such as formwork, launching truss, climbform, etc.
- products and services for inspection, maintenance and repair works.

*VSL's capabilities, expertise and know-how are available to develop the best-adapted solutions in co-operation with all partners involved in the design, supply, installation and assembly of cable-suspended structures.*

# THE SSI 2000 SYSTEM'S FEATURES

## Compatible with modern construction methods

Compact anchorages fully prefabricated in workshop, no anchorage component assembly on the deck, single strand installation with light equipment, easy force monitoring and adjustment.

## Increased corrosion protection

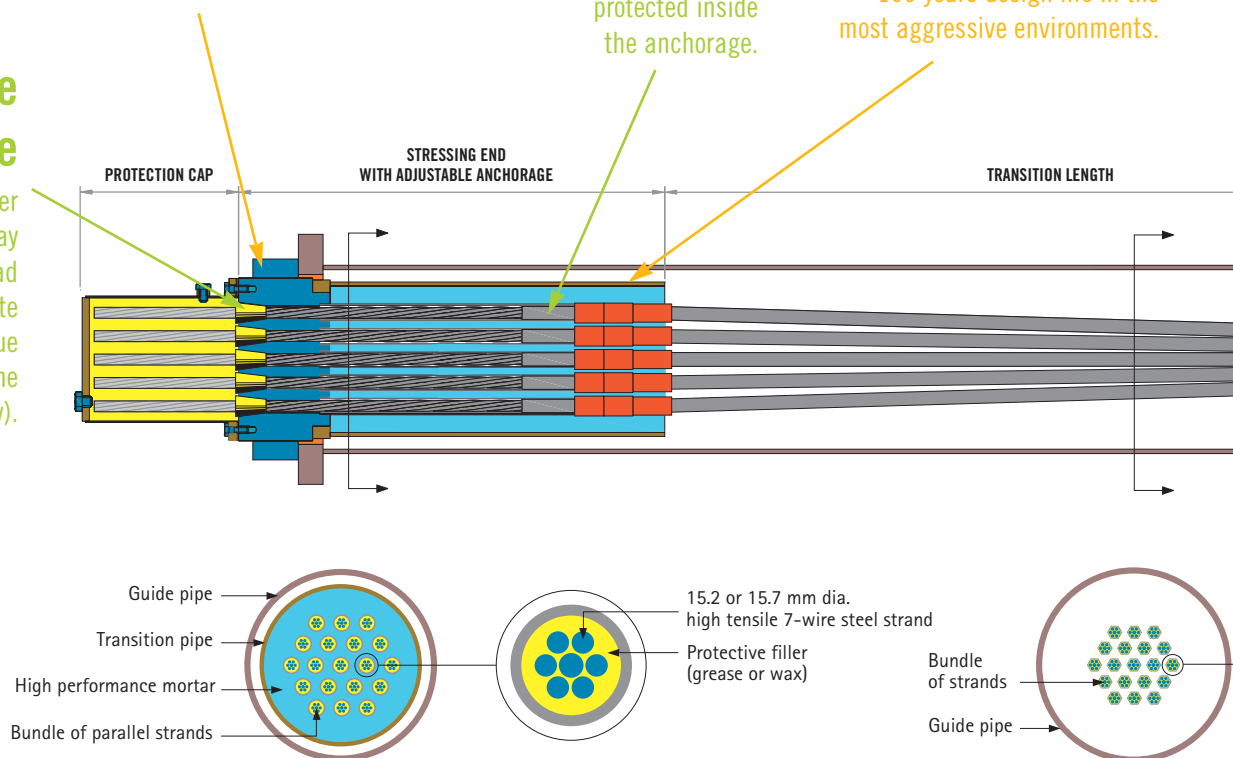
Factory-applied individual protection treatment, up to 100 years design life in the most aggressive environments.

## Full encapsulation

Each strand separately protected inside the anchorage.

## High fatigue resistance

200 MPa with an upper load of 45% of the stay capacity over  $2 \times 10^6$  load cycles; excellent ultimate resistance after fatigue testing (min. 95% of the specified stay capacity).



## SSI 2000: VSL STAY CABLE TECHNOLOGY FOR BRIDGES

The SSI 2000 stay cable system is based on the proven VSL stay cable wedge/strand anchorage technologies, which have been applied for over 20 years. Meeting the most stringent requirements, it has been used in more than 70 stay cable projects and successfully passed many full-scale tests.

### Easier to use

The VSL SSI 2000 system is easier to use in all types of cable-stayed bridge designs. It incorporates multiple independent and hard-wearing protection layers to guarantee long-term performance. The system also allows

for easy inspection and, where required, cable replacement. It meets and often exceeds the requirements of the latest PTI recommendations for stay cable systems.

The system has been optimised to facilitate cable installation on site. Because it uses prefabricated anchorages, there is no anchorage component assembly on the deck or the pylon along the critical bridge erection path. These very compact anchorages permit easy installation in confined locations inside box girders or pylons. Single-strand installation and stressing are standard features of this system. The 15.2- or 15.7-mm diameter, high-tensile,

7-wire steel strand is the prime element of this stay cable. It is delivered as monostrand, i.e. greased or waxed and sheathed. The strand is factory-manufactured to VSL specifications. Either grease or wax is applied to fill the voids around wires. The strand is overlaid with a tightly extruded HDPE cover. While not required for durability, the SSI 2000 system can, on request, be delivered with a galvanised or other type of metallic coating.

### Full individual encapsulation

The individual encapsulation of each strand avoids the risk of corrosion migration inside stay

## Economical

Faster installation and erection cycles.  
Reduced maintenance.

## Increased stay anchorage protection

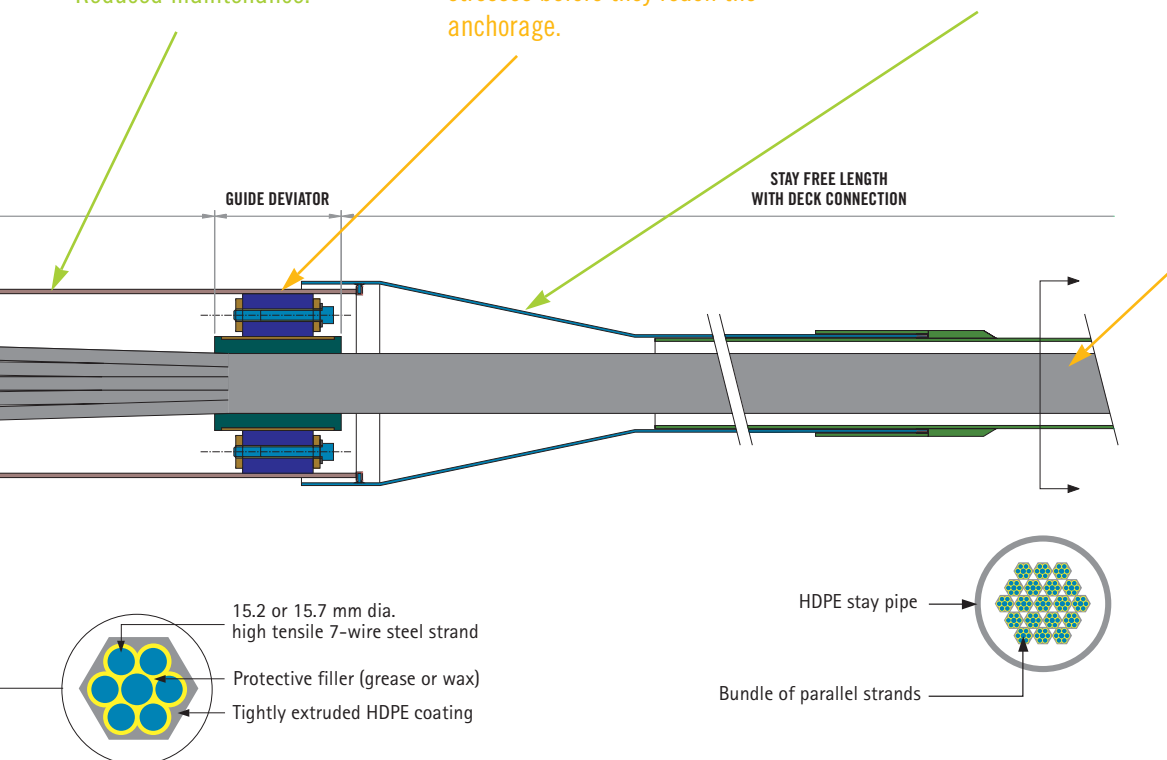
Deviator placed in the guide pipe provides an additional level of protection by filtering cable bending stresses before they reach the anchorage.

## Versatile

Designed to receive in the future vibration damping systems (friction dampers) if necessary.

## Replaceable strands

Ability to remove and to replace individual strands on demand.



cable areas that cannot be visually inspected. Full individual strand encapsulation is achieved by providing each strand with its own protection tube and sealing details in the anchorages. The performance of the seals can be checked at any time during the design life of the stay. This special sealing system also ensures full protection of the strand during the construction phase. The SSI 2000 system guarantees that the quality of the factory-applied individual protection treatment is maintained over the entire length of the strand: from wedge to wedge, and next to wedges where the protection treatment needs to be removed during installation.

### Protections for higher durability

Anchorage details are designed to filter vibration and bending stresses in the cable before they reach the wedge anchorage. The deviator placed inside the guide pipe provides the anchorage with an additional level of protection from imposed cable rotations. The corrosion protection systems on the anchorages have been designed to provide up to 100 years of design life in the most aggressive environments.

### Options

In its standard configuration, the VSL SSI 2000 stay cable system is delivered with its

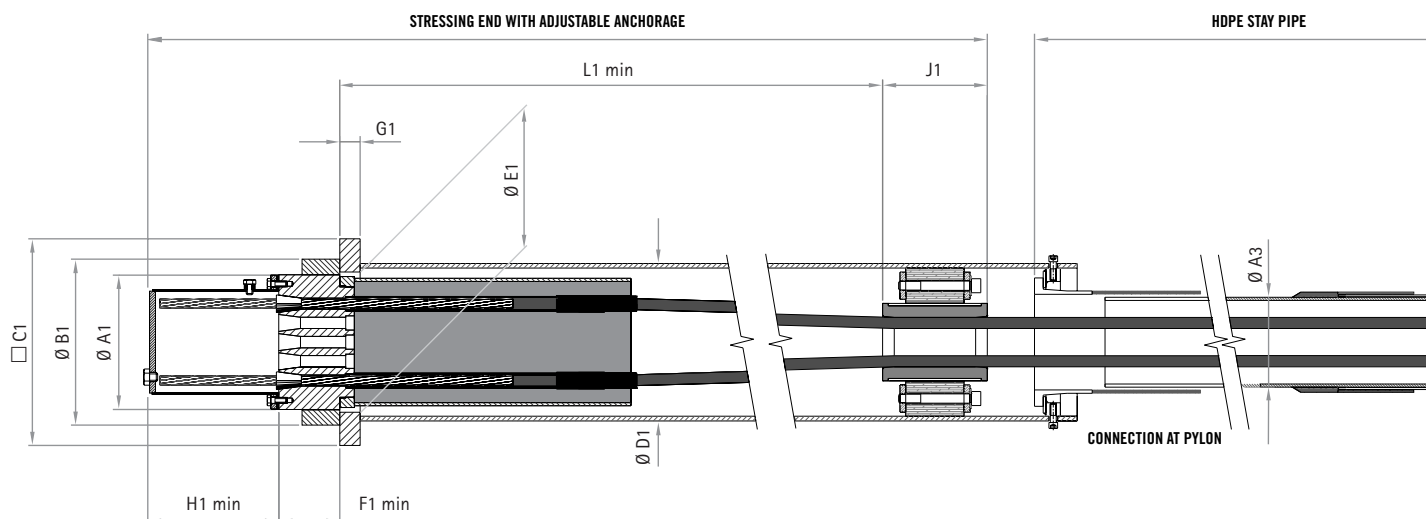
monostrands positioned inside a black HDPE stay pipe but without any metallic coating. It does not require grouting over the free length. The system can be supplied with a number of options, including: use of metal-coated (i.e. galvanised) monostrands; coloured HDPE stay pipe (co-extruded or fully coloured); special helical anti-vibration ribs on the stay pipe; stabilizing cables; special anti-vibration damper next to one end of the cable, generally at deck level for easy maintenance and designed to provide high performance and easy installation on both on new and existing bridges.

# VSL SSI 2000 MAIN DIMENSIONS

SSI 2000 STRESSING AND ANCHORAGE  
FOR 127 TENDON UNIT (PAPENDORPSE BRIDGE)



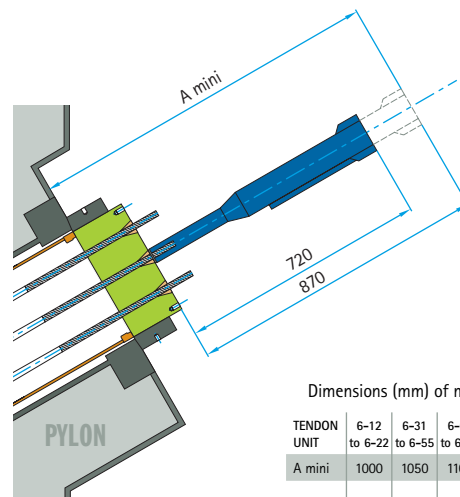
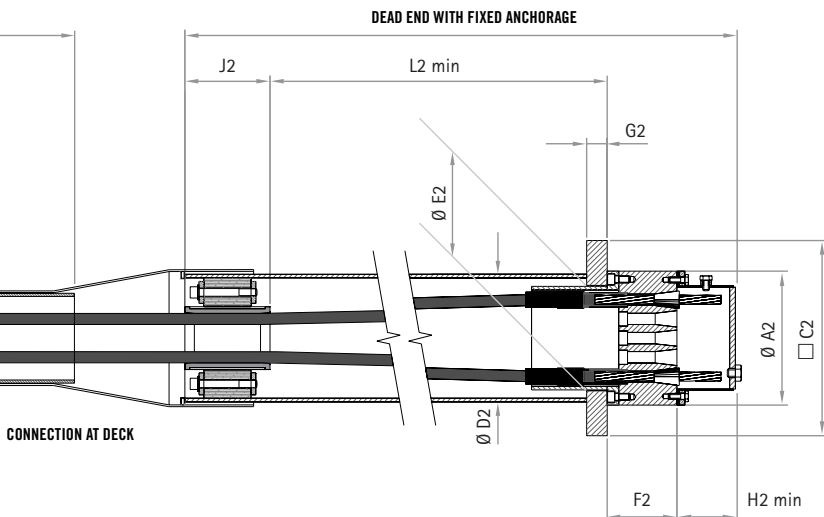
SSI 2000  
DEAD END ANCHORAGE



## Stay

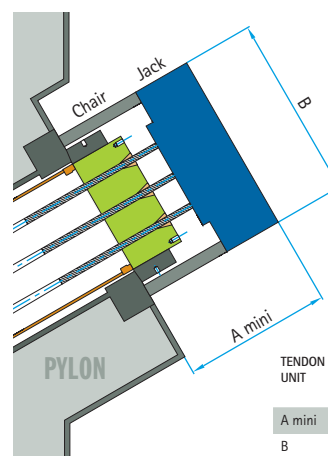
## Stressing End

| TENDON UNIT | Number of strands n | Minimum breaking load kN <sup>1</sup> | Force at 45% kN | Transverse force kN <sup>2</sup> | TENDON UNIT | Ø A1 mm | Ø B1 mm | C1 mm <sup>3</sup> | Ø D1 mm <sup>4</sup> <sup>8</sup> | Ø E1 mm | F1 min mm <sup>5</sup> | G1 mm <sup>3</sup> | H1 min mm <sup>6</sup> | J1 mm | L1 min mm |
|-------------|---------------------|---------------------------------------|-----------------|----------------------------------|-------------|---------|---------|--------------------|-----------------------------------|---------|------------------------|--------------------|------------------------|-------|-----------|
| 6-12        | 12                  | 3,348                                 | 1,507           | 50                               | 6-12        | 190     | 230     | 290                | 219.1/6.3                         | 196     | 85                     | 30                 | 235                    | 160   | 1,500     |
| 6-19        | 19                  | 5,301                                 | 2,385           | 80                               | 6-19        | 235     | 285     | 355                | 267/6.3                           | 241     | 100                    | 35                 | 245                    | 180   | 1,750     |
| 6-22        | 22                  | 6,138                                 | 2,762           | 90                               | 6-22        | 255     | 310     | 385                | 298.5/7.1                         | 261     | 110                    | 40                 | 245                    | 210   | 1,900     |
| 6-31        | 31                  | 8,649                                 | 3,892           | 130                              | 6-31        | 285     | 350     | 440                | 323.9/7.1                         | 291     | 130                    | 45                 | 275                    | 210   | 2,100     |
| 6-37        | 37                  | 10,323                                | 4,645           | 150                              | 6-37        | 310     | 380     | 485                | 355.6/8.0                         | 316     | 140                    | 50                 | 295                    | 210   | 2,300     |
| 6-43        | 43                  | 11,997                                | 5,399           | 180                              | 6-43        | 350     | 425     | 540                | 406.4/8.8                         | 356     | 145                    | 55                 | 305                    | 210   | 2,550     |
| 6-55        | 55                  | 15,345                                | 6,905           | 230                              | 6-55        | 385     | 470     | 585                | 419/10                            | 391     | 165                    | 60                 | 325                    | 260   | 2,650     |
| 6-61        | 61                  | 17,019                                | 7,659           | 250                              | 6-61        | 385     | 470     | 600                | 419/10                            | 391     | 180                    | 65                 | 345                    | 260   | 2,850     |
| 6-73        | 73                  | 20,367                                | 9,165           | 300                              | 6-73        | 440     | 530     | 680                | 508/11                            | 446     | 180                    | 75                 | 345                    | 290   | 3,050     |
| 6-85        | 85                  | 23,715                                | 10,672          | 350                              | 6-85        | 440     | 540     | 710                | 508/11                            | 446     | 210                    | 80                 | 375                    | 290   | 3,150     |
| 6-91        | 91                  | 25,389                                | 11,425          | 375                              | 6-91        | 490     | 590     | 760                | 559/12.5                          | 496     | 195                    | 80                 | 385                    | 320   | 3,400     |
| 6-109       | 109                 | 30,411                                | 13,685          | 450                              | 6-109       | 505     | 610     | 795                | 559/12.5                          | 511     | 215                    | 90                 | 400                    | 320   | 3,550     |
| 6-127       | 127                 | 35,433                                | 15,945          | 525                              | 6-127       | 560     | 670     | 865                | 610/12.5                          | 566     | 255                    | 95                 | 410                    | 340   | 3,950     |



Dimensions (mm) of monostrand jack.

| TENDON UNIT | 6-12 to 6-22 | 6-31 to 6-55 | 6-61 to 6-85 | 6-91 to 6-109 | 6-127 |
|-------------|--------------|--------------|--------------|---------------|-------|
| A mini      | 1000         | 1050         | 1100         | 1150          | 1200  |



Dimensions (mm) of multistrand jack and chair.

| TENDON UNIT | 6-12 to 6-19 | 6-22 to 6-37 | 6-31 to 6-43 | 6-55 to 6-61 | 6-85 to 6-91 | 6-109 to 6-127 |
|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|----------------|
| A mini      | 1000         | 1000         | 1100         | 1200         | 1300         | 1350           |
| B           | 490          | 620          | 620          | 780          | 780          | 970            |

## Dead End

| TENDON UNIT | ØA2 mm | C2 mm <sup>3</sup> | ØD2 mm <sup>4 8</sup> | ØE2 mm | F2 mm | G2 mm <sup>3</sup> | H2 min mm | J2 mm | L2min mm | ØA3 mm <sup>4 7</sup> | TENDON UNIT |
|-------------|--------|--------------------|-----------------------|--------|-------|--------------------|-----------|-------|----------|-----------------------|-------------|
| 6-12        | 185    | 260                | 177.8/4.5             | 150    | 105   | 35                 | 105       | 160   | 900      | 125/4.9               | 6-12        |
| 6-19        | 230    | 335                | 219.1/6.3             | 190    | 120   | 50                 | 105       | 180   | 1,200    | 140/5.4               | 6-19        |
| 6-22        | 250    | 355                | 219.1/6.3             | 205    | 120   | 50                 | 105       | 210   | 1,350    | 160/6.2               | 6-22        |
| 6-31        | 280    | 415                | 244.5/6.3             | 230    | 145   | 60                 | 105       | 210   | 1,550    | 160/6.2               | 6-31        |
| 6-37        | 300    | 455                | 273/6.3               | 255    | 170   | 70                 | 105       | 210   | 1,750    | 180/5.6               | 6-37        |
| 6-43        | 340    | 505                | 323.9/7.1             | 285    | 175   | 75                 | 105       | 210   | 2,000    | 200/6.2               | 6-43        |
| 6-55        | 380    | 550                | 323.9/7.1             | 310    | 195   | 75                 | 105       | 260   | 2,050    | 200/6.2               | 6-55        |
| 6-61        | 380    | 585                | 355.6/8               | 330    | 215   | 85                 | 105       | 260   | 2,250    | 225/7.0               | 6-61        |
| 6-73        | 430    | 650                | 406.4/8.8             | 370    | 215   | 95                 | 120       | 290   | 2,450    | 250/7.8               | 6-73        |
| 6-85        | 430    | 685                | 406.4/8.8             | 370    | 245   | 110                | 120       | 290   | 2,600    | 250/7.8               | 6-85        |
| 6-91        | 480    | 730                | 457/10                | 420    | 255   | 110                | 120       | 320   | 2,800    | 280/8.7               | 6-91        |
| 6-109       | 495    | 775                | 457/10                | 420    | 265   | 120                | 120       | 320   | 3,000    | 315/9.8               | 6-109       |
| 6-127       | 550    | 845                | 508/11                | 475    | 315   | 130                | 120       | 340   | 3,350    | 315/9.8               | 6-127       |

## Stay Pipe

- Forces are indicated for strand EN 10138-3 1860S7 - 16.0 (Euronorm).
- Admissible transverse force on the standard guide deviator.
- Valid for nominal concrete strength at stressing to 45% of stay capacity: 45 MPa (cube), 36 MPa (cylinder). Dimension must be checked in case of other bearing condition.
- External diameter/wall thickness.
- Minimum height of anchor head allows an adjustability of 40 mm.
- Dimensions valid for load monitoring/adjustment with multi-strand jack.
- Non-grouted stay.
- Guide pipe to be checked for the actual transverse force.



# SSI 2000, A NEW CONCEPT FOR DURABILITY

Today, bridges are generally designed for a life up to 100 years, and some constraints (traffic, maintenance, concession, ...) are becoming increasingly more demanding. Since durability is one of the most important requirements for a stay cable system, VSL has given special attention to the corrosion protection of anchorages and of stay cables between anchorages.

## Up to 100-year design life

To meet future specifications for high durability in the most aggressive environments, the corrosion protection of the anchorages has been rationalised to provide up to 100-year design life in such environments. These are defined by the categories C4 and C5 in the ISO 12944 standard.

During this 100-year design life, the first maintenance operations on the accessible or replaceable components will be scheduled after 15 or 25 years, and subsequent maintenance operations every 15 years. Inaccessible parts have a protection system for the entire design life without maintenance.



(A) John Paul II (Marta Wisla) Bridge – Poland, 2001  
Red stay pipe with helical rib.

## Effective corrosion protection

The procedure to define the most effective corrosion protection for each component of the SSI 2000 anchorage was based on:

- Definition of the design life of the stay cable.**
- Corrosivity aggressiveness.**
- Analysis of particular details of the anchorage which may affect the choice of the corrosion protection (e.g. threaded parts).**
- Ability to replace components during maintenance operations.**
- Accessibility to components for maintenance works.**
- Analysis of the galvanic corrosion.**
- Identification of different corrosion protection systems with the required durability according to the environment. Selection of the most suitable corrosion protection systems.**
- Definition of the maintenance programme covering the whole service life of the bridge.**

## Accessibility of components

The components of the anchorage have been classified in two categories, according to their accessibility during maintenance:

- The components that can be replaced or that are easily accessible: The protection system shall last the specified design life of the stay cable with regular maintenance operations, typically at intervals of 15 to 25 years.
- The components that are not accessible: The protection system shall last the specified design life of the cable without maintenance (50 or 100 years).



# VIBRATION CONTROL: 3 OPTIONS WITH SSI 2000

Cable vibration remains a critical issue for the further development of cable-stayed bridges.

The VSL SSI 2000 system is adapted to receive three optional types of cable vibration control solutions which complement or replace the standard guide deviator:

- **Helical ribs: the stay pipe can be equipped with external helical ribs (A), (B).**
- **Friction dampers: they can be placed near the deck and fixed to the guide pipe (C),**
- **Stabilizing cables: they can interconnect the stay cables.**

The stay pipe with helical ribs has to be installed during the construction of the bridge. The two other solutions can be installed later should vibration problems occur. It is however advisable to include certain connection details during the bridge design stage in order to allow installation of dampers or stabilizing cables at a later date. VSL can provide information to meet the requirements of specific projects.

The SSI 2000 system allows the VSL friction damper to be easily installed on the stay cable in case of unexpected cable vibrations years after erection/construction. The damper can be adapted to suit existing structures where cables are subjected to unexpected vibrations resulting from new environmental conditions.



(C) Uddevalla Bridge – Sweden, 1998 Friction damper at installation.

(B) Uddevalla Bridge – Sweden, 1998  
White stay pipe with helical rib.

# SINGLE STRAND INSTALLATION WITH A

The concept underlying the system is the Single Strand Installation (SSI). Experienced technical staff will adapt and implement VSL standard method statements for the stay cable installation to any specific project, anywhere in the world.

## 1 - Stay pipe erection

The stay pipe is generally prefabricated on the deck and prepared (A) with the first strand installed (B). This strand is connected at both ends to the anchorages and then stressed to support the stay pipe. Given the reduced weight of the stay pipe with the strand, this is a quick and easy operation using light erection equipment.

## 2 - Pulling of strands

Once the stay pipe is erected, one or two strands at a time are pulled through the stay pipe, connected to the anchorages and individually stressed. This installation method ensures that all strands are parallel. The pulling equipment (C), typically a winch, can be placed at the top of the pylon or alongside the pylon, or on the deck, if strand installation is taking place at the same time as the pylon construction.



(D) WORK BENCH FOR STRAND PREPARATION

For small cable lengths and for more flexible erection organisation, strands can be prepared, cut to length and stored on the deck before being pulled through the stay pipe. The standard solution is to prepare the strand during its installation, with the strand coil placed in a dispenser on the deck (D).

The strand is then pulled through to a work bench (E), near the deck anchorage, for preparation prior to being pulled up through the stay pipe to the pylon anchorage by means of a winch. The repetition in this method allows a high level of productivity.

(B) LIFTING OF STAY PIPE



# STANDARD PROCEDURE



(A) STAY PIPE PREPARATION

## 3 - Individual stressing with AMS control

Single strand installation with light erection equipment – the monostrand jack (F) weighs less than 20 kg – allows strands to be tensioned one by one. Today, increased flexibility of the structures requires more stay stressing operations during construction. To meet these requirements, VSL has developed the Automatic Monostrand Stressing System (AMS). The main control box (G) of the AMS is connected to the stressing jack and to the hydraulic pump equipped with sensors and transducers. Input parameters of each cable stressing operation can be pre-set on a floppy disk and loaded in the computer of the AMS. The AMS processor controls and registers all the parameters of the stressing operation. Results can be saved and processed for later stages.

(E) STRAND COIL DISPENSER



## 4 - Tensioning and final tuning

All stressing operations, including the final tuning, can be carried out using the AMS monostrand jack (F). The final tensioning of the cable will be generally achieved after 2 to 3 operations. The first stressing operation is achieved during the strand installation. Each strand of the cable is stressed with the AMS to a specific force level so that the cable has the force



(G) THE VSL AUTOMATIC MONOSTRAND STRESSING SYSTEM (AMS)



(C) PULLING EQUIPMENT

specified by the engineer and all the strands have the same tension. The automatic lift-off programme of the AMS detects, displays and can save the individual strand forces. In the subsequent stressing operations, each strand is stressed to the same elongation specified by the engineer. These iso-elongation operations are controlled by the AMS sensors to ensure the strands have the same elongation. Once all cables have been installed, the final tuning of the stays is generally combined with the geometry control of the deck.

## De-tensioning

Stay installation methods should preferably be engineered to avoid any cable de-tensioning. When a final de-tensioning operation is unavoidable, it is performed using the compact VSL stay multistrand jack (see p.7).



(F) LIGHTWEIGHT STRESSING EQUIPMENT

# RELIABLE VSL TECHNOLOGY FOR ALL STAY CABLE ARRANGEMENTS

In the process of designing a cable-supported bridge, the choice of the cable system is one of the most decisive factors. The cable arrangement at tower level has a great influence on both the aesthetic and economic aspects of the project. Here are some experience.



Wadi Leban Bridge – Saudi Arabia, 1997

Safti Bridge – Singapore, 1995



#### Pylon arrangement

The shape of the tower varies depending on whether the cables lie in one or two planes. An inclined pylon can be stabilised by back-stay cables. This is an example of diversity in design.



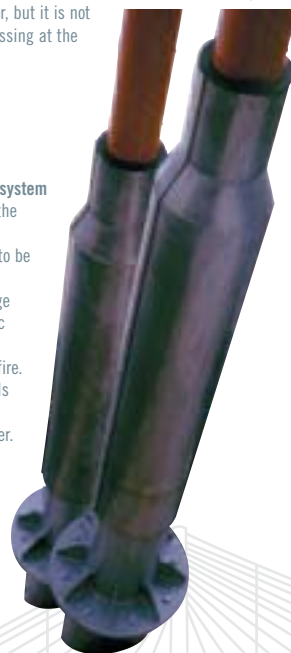
River Leven – UK, 1995

#### Connection below or above the deck

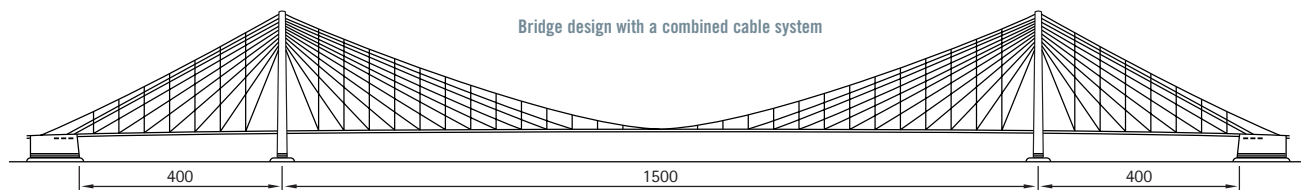
For concrete decks, the anchorage is generally placed below the deck. A guide pipe goes through the deck. This pipe can also be used to receive a vibration damping system. However, access platforms beneath the deck are needed for stressing and maintenance operations. For steel or composite decks, the anchorage can be placed above the deck. This solution makes cable erection and anchorage inspection easier, but it is not suitable for stressing at the deck level.

#### Anti-vandalism system

In some cases, the stay-cable deck connection has to be protected from potential damage caused by traffic accidents, vandalism and fire. Protection details vary from one project to another.

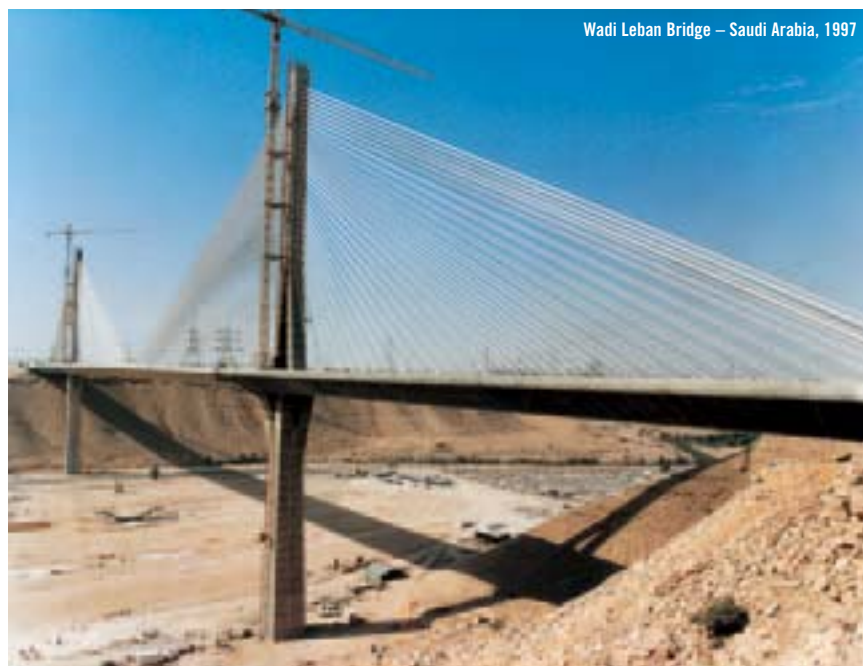






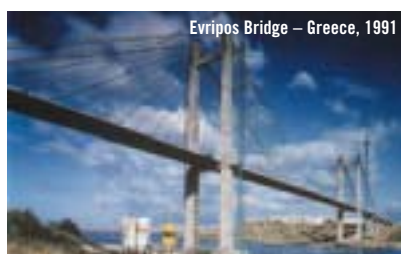
### Saddle design

The design of cable-stayed structures using saddles can be aesthetically attractive. Saddle designs have to comply with the high fatigue and static resistance requirements specified for the anchorages. In some bridges, the saddles are designed to allow for cable replacement. The cable installation methods must adapt to the design of the saddle.



### Axial or lateral planes

The stay cable can be arranged in one or two axial planes or in two lateral planes. The distance between the deck attachments must take into account the deck erection method. The cable size should be limited to allow easier replacement.

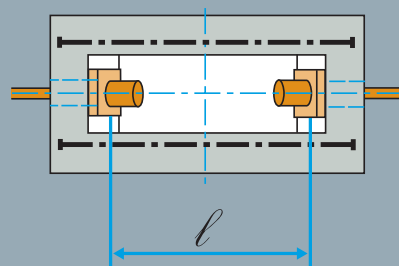
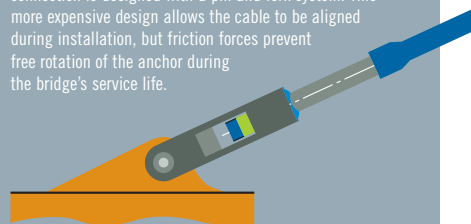


### Fan and semi-fan systems

In the fan system, the cables are distributed over the upper part of the pylon. In the harp system, the stay cables are parallel with one another. With the pure fan system, all cables run from the bridge deck to a single point at the top of the tower. Most cable-stayed bridges use the semi-fan system because of its efficiency and the high level of geometrical freedom that it provides. Fan and semi-fan arrangement. To extend the practical span range of cable-supported bridges, a combination of suspension and cable-stayed systems could be used.

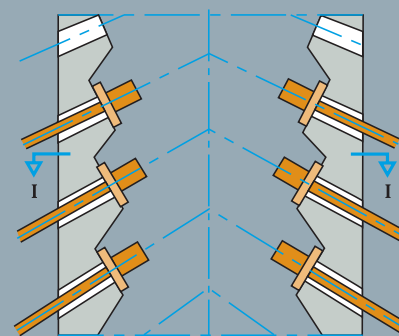
### Pin and fork system

For some steel or composite decks, the stay-cable connection is designed with a pin and fork system. This more expensive design allows the cable to be aligned during installation, but friction forces prevent free rotation of the anchor during the bridge's service life.



### Minimum clearance

Care needs to be taken if the stressing anchorages are placed inside the pylon. A minimum clearance ( $l$ ) is generally required for the installation and stressing of the cables. Although the recommended minimum clearance between facing stressing anchorage bearing plates is about 3.5 m, access conditions still have to be considered.



# OVER 90 STAY CABLE BRIDGES IN 20

## **Batam Tonton Bridge – Indonesia, 1997**

Design, supply and operation of pylon climbforms. Design and operation of deck formtravellers. Supply and installation of post-tensioning tendons and stay cables. Construction engineering for superstructure construction.



## **Yichong Yiling Bridge, Hubei – RPC, 2001**

Supply of stay cable system, erection equipment, stay cable engineering, site management and site supervision.

**Foss Waterway - USA, 1996**  
Supply and installation of stay cables.





# YEARS



**Ching Chau Min Jiang Bridge – China, 1999**  
Supply and strand-by-strand installation of cables (2 400 t), with a 605m-long main span.



**Maysville Bridge – USA, 1998**  
Supply of stay cables and technical supervision for installation.



**River Ebro Bridge – Spain, 1978**  
Supply of stay cables, installation in cooperation with main contractor.



**River Allan Bridge – France, 1994**  
Supply and installation of cables with waxed monostrands.  
Stay anchorages above deck.



# W CONCEPT FOR DURABILITY



## OVER 90 STAY CABLE BRIDGES IN 20 YEARS



### **Pakse Bridge – Laos, 2000**

Production and erection of the precast segmental deck, including: design, supply and operation of casting cells and launching gantry; construction of cast-in-situ pier tables; geometry control; supply and installation of post-tensioning and stay cables.







**Centenario Bridge – Spain, 1991**  
Supply of the stay cables. Supervision at the installation.



**Do Comboio Viaduct – Portugal, 1999**  
Supply and strand by strand installation of stay cables.  
Supply of pot bearings and joints.



**Houston Ship Channel Bridge – USA, 1995**  
Supply of stay cables and supervision at installation.



**Chongqing Maxangxi bridge– RPC, 2001**  
1455 tons of stay cables.  
First bridge project in China using SSI 2000.



**Sunshine Skyway, Florida – USA, 1986**  
Supply of post-tensioning and stay cables.



**Viaduto de Corujeira – Portugal, 2001**  
Supply and installation  
of stay cables and post-tensioning.

## SSI 2000: TODAY'S STATE-OF-THE-ART TECHNOLOGY FOR THE FUTURE



**Neva Bridge — Russia, 2002**  
Supply and installation of cables.



**Puente Europa — Portugal, 2002**  
Design, supply and installation of post-tensioning.  
Supply and installation of SSI 2000 stay cables.



**Papendorpse Bridge — Netherlands, 2002**  
125 strand-cables designed for future installation of a damping system.



**Puente de la Unidad — Mexico, 2003**  
In a 50/50 JV, VSL will provide project management, complete technical and method support and part of the production management. VSL Mexico will also supply and install the post-tensioning, and the SSI 2000 stay cable system.



**Kien Bridge — Vietnam, 2003**  
Supply of bearings, supply and installation of SSI 2000 stay cables.



# STAY CABLE SYSTEMS ADAPTED TO ALL TYPES OF SUSPENDED STRUCTURES



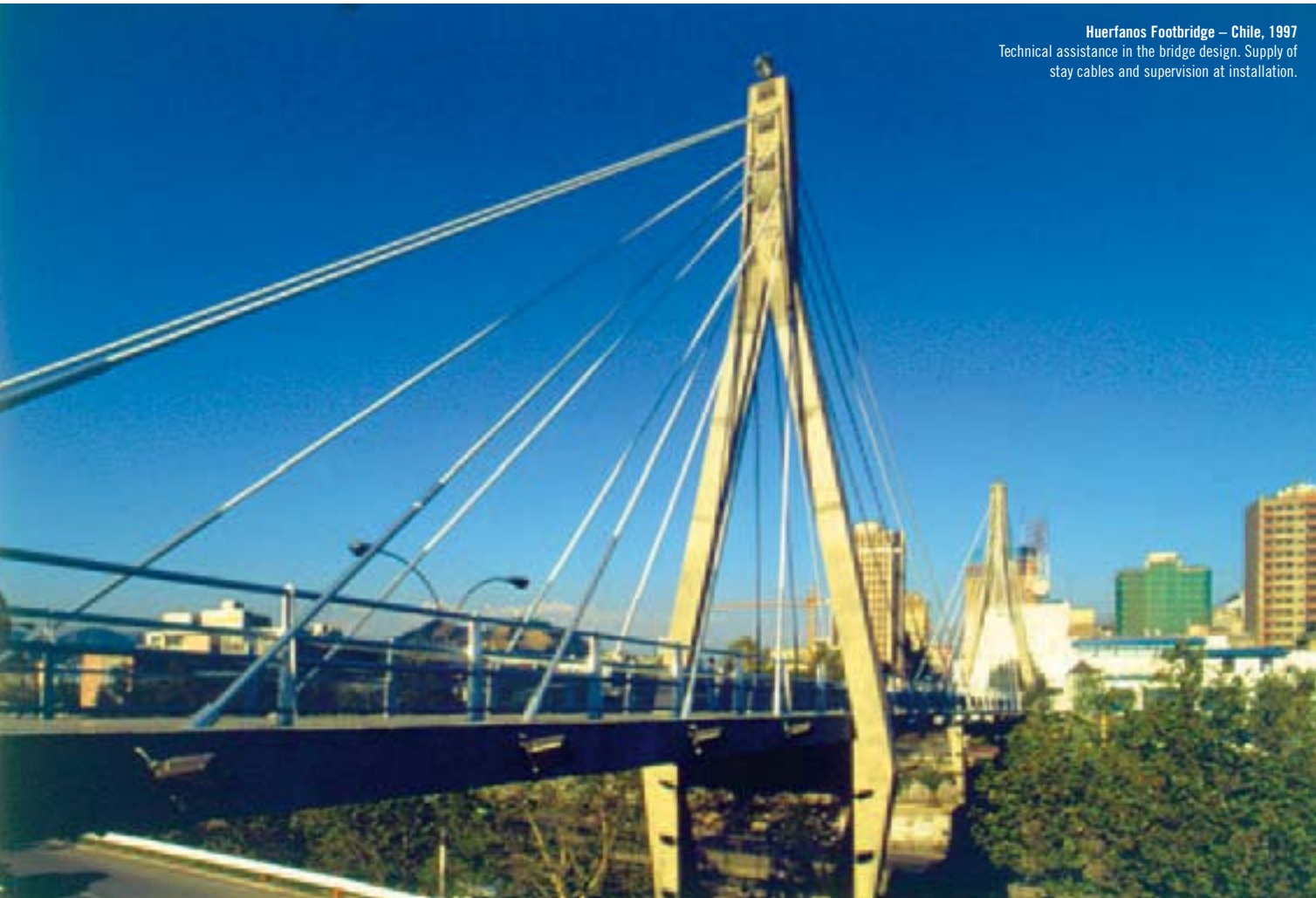
Las Glorias Footbridge - Spain, 1991  
Supply of the stay cables and  
supervision at installation.

Cable-stayed structures are frequently used for small structures such as short-span pedestrian bridges. Because of their structural elegance, economic advantages and level of design freedom, more cable-stayed structures such as bridges and suspended roofs have been built over the last 30 years. Potential span have also considerably increased.

Riverview pedestrian Bridge, Queensland - Australia, 1992  
Stressbar stay cables.



Washington Dulles International Airport - USA, 1996  
Cable suspended roof.



**Huerfanos Footbridge – Chile, 1997**  
Technical assistance in the bridge design. Supply of stay cables and supervision at installation.



**Liebrüti Footbridge – Switzerland, 1978**  
Supply and installation of stay cables.



**Studio Village, Helensvale – Australia, 1994, 2000**  
Stage 1 was built in 1994 (pictured) using stressbar. Final stage in 2000 was part of Gold Coast Motorway construction.



**Ederval Bridge – Portugal**  
Supply of the stay cables. Supervision at the installation.



Seonyu Footbridge, South Korea  
A world's first in Ductal®



Pot bearings.

Marga-Marga project, Chile  
VSoL® walls for channelling of a river.



West-Rail Rail Link - Hong Kong  
Erection works.



N'Kossa barge - France  
Post-tensioning for special projects.



Normandy Bridge - France  
Heavy lifting.



Groene Hart - Netherlands  
108 columns anchored at a 50-m-depth.

# THE VSL NETWORK

## World-wide support.

Through 40 subsidiaries established on 5 continents, VSL operates as a world-wide network in the field of post-tensioning and related engineering. The group handles all PT works with its own personnel and equipment, and provides appropriate technical consultancy and support, both during planning and on site. Assistance can range from project planning to complete final designs, construction engineering and on-site activities.

## PT, stay cables and foundations.

In addition to Post-tensioning and stay cables for buildings and civil engineering projects, the group's scope of works covers Deep foundations, Geotechnics, Monitoring and repair, Structural products, and Packages. VSL broadened its activities in 2001 with deep foundation and soil engineering activities by joining up with Intrafor.

## Company values for adequate solutions.

All companies benefit from the unique international exchange of know-how within the VSL group network. All managers are entrepreneurs with good knowledge of local markets willing to provide adequate solutions and top quality services to customers.







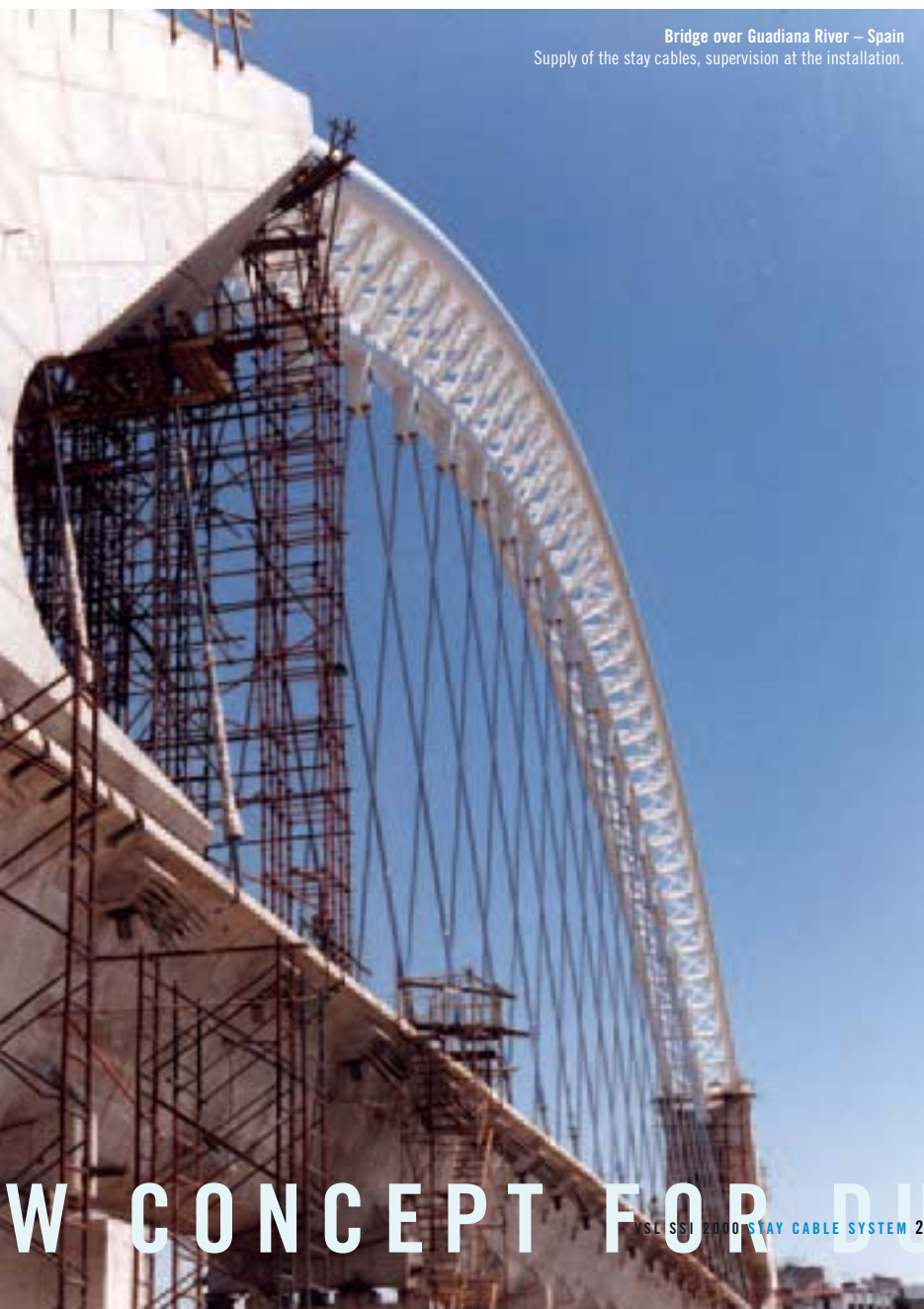
**Malley Ice Hockey Stadium Lausanne – Switzerland, 1984**  
Supply of the stay cables.



**Borlange roof – Sweden**  
Concrete roof suspended with stay cables from two steel pylons. Supply of the stay cables.



**Arrigorriaga Footbridge – Spain, 1986**  
Supply of stay cables and supervision at installation.



**Bridge over Guadiana River – Spain**  
Supply of the stay cables, supervision at the installation.



**Jubilee Fo Tan Footbridge - Hong Kong, 1988**  
Supply and installation of stay cables.



**Trellins Bridge – France**  
Temporary stays during arch construction.  
Supply and installation of the stay cables.



# VSL—INTRAFOR LOCATIONS

[www.vsl-intrafor.com](http://www.vsl-intrafor.com)

## HEADQUARTERS

VSL International Ltd.  
Scheibenstrasse 70 – Bern  
CH-3014 – Switzerland  
Phone: +41 32 613 30 30  
Fax: +41 32 613 30 55

## Americas

### ARGENTINA

VSL Sistemas Especiales de  
Construcción Argentina SA  
BUENOS AIRES  
Phone: +54 - 11 - 4393 - 28 07  
Fax: +54 - 11 - 4326 - 26 50

### CHILE

VSL Sistemas Especiales de  
Construcción S.A.  
SANTIAGO  
Phone: +56 - 2 - 233 10 81  
Fax: +56 - 2 - 233 67 39

### MEXICO

VSL Corporation Mexico S.A de C.V.  
MEXICO  
Phone: +52 - 5 - 396 86 21  
Fax: +52 - 5 - 396 84 88

### UNITED STATES

VStructural LLC  
BALTIMORE, MD  
Phone: +1 - 410 - 850 - 7000  
Fax: +1 - 410 - 850 - 4111

## Middle East

### UNITED ARAB EMIRATES

VSL Middle East Office  
DUBAI  
Phone: +971 - 4 - 282 08 03  
Fax: +971 - 4 - 282 94 41

## Africa

### SOUTH AFRICA

VSL Systems (South Africa) Pty. Ltd.  
Kya Sand, RANDBURG  
Phone: +27 - 11 - 708 21 00  
Fax: +27 - 11 - 708 21 20

## Europe

### AUSTRIA

Grund-Pfahl- und Sonderbau GmbH  
Industriestrasse 27a  
AT-2325 Himberg bei Wien  
Phone: +43 - 2235 87 777  
Fax: +43 - 2235 86 561

### BELGIUM

N.V. Procedes VSL SA  
BERCHEM  
Phone: +32 3 230 36 34  
Fax: +32 3 230 89 65

### CZECH REPUBLIC

VSL Systémy (CZ), s. r. o.  
PRAGUE  
Phone: +420 - 2 - 67 07 24 20  
Fax: +420 - 2 - 67 07 24 06

### FRANCE

VSL France S.A.  
ST-QUENTIN-EN-YVELINES  
Phone: +33 - 1 - 39 44 85 85  
Fax: +33 - 1 - 39 44 85 87

Intrafor S.A.  
ST-QUENTIN-EN-YVELINES  
Phone: +33 - 1 - 39 44 85 85  
Fax: +33 - 1 - 39 44 85 86

### GERMANY

VSL Systems GmbH  
BERLIN  
Phone: +49 30 53 01 35 32  
Fax: +49 30 53 01 35 34

### GREAT BRITAIN

VSL Systems (UK) Ltd.  
CAMBRIDGESHIRE  
Phone: +44 (0) 1480 404 401  
Fax: +44 (0) 1480 404 402

Intrafor (UK)  
BRACKNELL  
Phone: +44 - 1 - 344 742 115  
Fax: +44 - 1 - 344 742 146

### GREECE

VSL Systems A/E  
ATHENS  
Phone: +30 - 1 - 0363 84 53  
Fax: +30 - 1 - 0360 95 43

### NETHERLANDS

VSL Benelux B.V.  
AT LEIDEN  
Phone: +31 - 71 - 576 89 00  
Fax: +31 - 71 - 572 08 86

Intrafor (Netherlands)

AC LEIDERDORP  
Phone: +31 - 71 - 581 70 22  
Fax: +31 - 71 - 581 70 21

### NORWAY

VSL Norge A/S  
STAVANGER  
Phone: +47 - 51 - 56 37 01  
Fax: +47 - 51 - 56 27 21

### POLAND

VSL Polska Sp. z o.o.  
WARSAW  
Phone: +48 - 22 817 84 22  
Fax: +48 - 22 817 83 59

### PORTUGAL

VSL Sistemas Portugal Pre-Esforço,  
Equipamento e Montages S.A.  
S. DOMINGO DE RANA  
Phone: +351 - 21 - 445 83 10  
Fax: +351 - 21 - 444 63 77

### SPAIN

CTT Stronghold  
BARCELONA  
Phone: +34 - 93 - 289 23 30  
Fax: +34 - 93 - 289 23 31

VSL-SPAM, S.A.  
BARCELONA  
Phone: +34 - 93 - 289 23 30  
Fax: +34 - 93 - 289 23 31

### SWEDEN

Internordisk Spännarmöring AB  
SOLNA  
Phone: +46 - 8 - 504 37 200  
Fax: +46 - 8 - 753 49 73

### SWITZERLAND

VSL (Switzerland) Ltd.  
SUBINGEN  
Phone: +41 - 32 613 30 30  
Fax: +41 - 32 613 30 15

VSL (Suisse) SA  
PENTHAZ  
Phone: +41 21 862 80 00  
Fax: +41 21 862 80 02

## Asia

### BRUNEI

VSL Systems (B) Sdn. Bhd.  
BRUNEI DARUSSALAM  
Phone: +673 - 2 - 380 153 / 381 827  
Fax: +673 - 2 - 381 954

### HONG KONG

VSL Hong Kong Ltd.  
WANCHAI  
Phone: +852 - 2590 22 88  
Fax: +852 - 2590 95 93

Intrafor (Hong Kong branch)

WANCHAI  
Phone: +852 - 2836 31 12  
Fax: +852 - 2591 61 39

### INDIA

VSL India Private Ltd.  
CHENNAI  
Phone: +91 - 44 859 2538 / 39  
Fax: +91 - 44 859 2537

### INDONESIA

PT VSL Indonesia  
JAKARTA  
Phone: +62 - 21 - 570 07 86  
Fax: +62 - 21 - 573 12 17

### JAPAN

VSL Japan Corporation  
TOKYO  
Phone: +81 - 3 - 3346 - 8913  
Fax: +81 - 3 - 3345 - 9153

### KOREA

VSL Korea Co. Ltd.  
SEOUL  
Phone: +82 - 2 - 553 8200  
Fax: +82 - 2 - 553 8255

### MAINLAND CHINA

VSE Engineering Corp., Ltd.  
HEFEI  
Phone: +86 - 551 - 557 6008  
Fax: +86 - 551 - 557 6018

VSL Engineering Corporation Ltd.

Shanghai Branch Co.  
SHANGHAI  
Phone: +86 - 21 - 6475 4906  
Fax: +86 - 21 - 6475 4255

### MALAYSIA

VSL Engineers (M) Sdn. Bhd.  
KUALA LUMPUR  
Phone: +603 - 7981 47 42  
Fax: +603 - 7981 84 22

### PHILIPPINES

VSL Philippines Inc.  
MANDALUYONG CITY  
Phone: +632 638 76 86  
Fax: +632 638 76 91

### SINGAPORE

VSL Singapore Pte. Ltd.  
SINGAPORE  
Phone: +65 - 6559 12 22  
Fax: +65 - 6257 77 51

### TAIWAN

VSL Taiwan Ltd.  
TAIPEI  
Phone: +886 - 2 - 2759 6819  
Fax: +886 - 2 - 2759 6821

### THAILAND

VSL (Thailand) Co. Ltd.  
BANGKOK  
Phone: +66 - 2 - 237 32 88 / 89 / 90  
Fax: +66 - 2 - 238 24 48

### VIETNAM

VSL Vietnam Ltd.  
HANOI  
Phone: +84 - 4 - 8245 488  
Fax: +84 - 4 - 8245 717

Ho Chi Minh City  
Phone: +84 - 8 - 8258 144  
Fax: +84 - 8 - 9102 596

## Australia/Pacific

AUSTRALIA - Queensland  
VSL Prestressing (Aust.) Pty. Ltd.  
GEEBUNG  
Phone: +61 - 7 - 326 564 00  
Fax: +61 - 7 - 326 575 34

AUSTRALIA - New South Wales  
VSL Prestressing (Aust.) Pty. Ltd.  
THORNLEIGH  
Phone: +61 - 2 - 948 459 44  
Fax: +61 - 2 - 987 538 94

AUSTRALIA - Southern Division  
VSL Prestressing (Aust.) Pty. Ltd.  
NOBLE PARK  
Phone: +61 - 3 - 979 503 66  
Fax: +61 - 3 - 979 505 47

### GUAM

Structural Technologies Inc.  
TUMON  
Phone: +1 - 671 - 646 8010  
Fax: +1 - 671 - 646 8060



# VSL CTT POT BEARINGS



DESIGN  
ENGINEERING

TECHNICAL  
SUPPORT

BEARING  
FABRICATION



# VSL-CTT BEARINGS

## Worldwide references in specialised bridge construction and experienced engineering

**VSL-CTT Pot Bearings benefit of the VSL Expertise in structural engineering and construction methodologies. VSL Pot Bearings have been used worldwide on various prestigious projects for their innovative user-friendly design, reliability and quality.**

### The company

Subsidiary of the VSL Group, CTT-Stronghold is a leader in the field of post-tensioning and related engineering in Spain. In conjunction with VSL R&D teams a wide range of technically proven structural products have been developed over many years.

Structural bearings are important elements of structures, most notably in bridges, providing a connection between the superstructure and substructure.



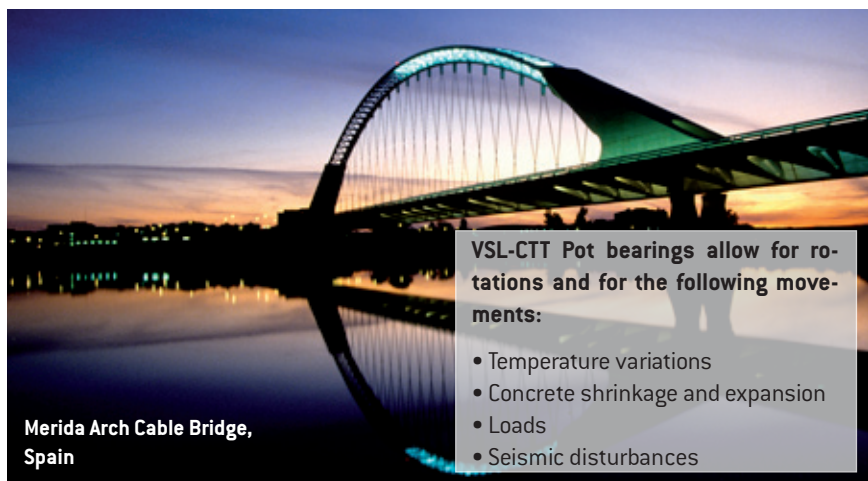
### VSL-CTT Bearing Technology

There are different types of bearings; one of the most widely used is the pot bearing due to its versatility and ingenious design.

Pot bearings are capable of transmitting forces while absorbing the structures deformations and rotations.

The strength of the bearing elastomer is maximized by encasing it in a pot and placing a piston on top.

Under vertical load, the elastomer behaves like a viscous fluid, allowing rotations around the horizontal axis.



### VSL's scope

Continuously trained VSL engineers propose tailor-made solutions within VSL's wide range of POT bearings to match the project's individual needs. As production processes for POT bearings are not standardised, the products will always be adapted to the even most challenging cases. At the factory, the quality of both factory production and testing are one of the main issues. Besides that VSL is the leader in short production time and fast delivery to the jobsites. – Depending on each country VSL's scope may include all steps from project consulting and installation of the bearings on site.



**VSL-CTT Pot Bearings are made only from high-quality materials and designed to meet various codes and specifications.**

# COMPONENTS SPECIFICATIONS

## High quality engineered solutions for every project

### STAINLESS STEEL AND TOP PLATE

Transfers the vertical and horizontal load from the superstructure to the remaining parts of the bearing.

### P.T.F.E.<sup>1</sup>

Transfers the vertical load from the top plate to the piston and provides a low-friction surface against the sliding surface of the upper plate during movement.

### EXTERNAL SEALING RING

Prevents moisture and debris from entering the gap between the piston and the pot.

### GUIDE<sup>2</sup> AND PISTON OF DU METAL

Transfers the horizontal load from the recess of the top plate to the pot and the vertical load to the elastomer.

A recess on the surface of the piston confines the PTFE.

### INTERNAL SEALING RING

Prevents the extrusion of the Elastomer.

### ELASTOMER PAD

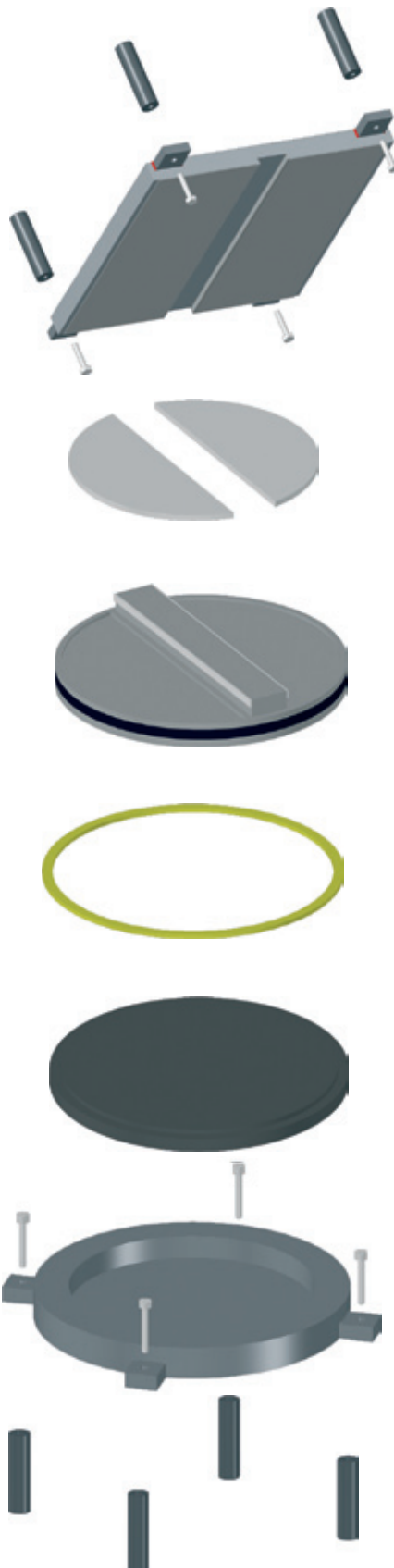
Transfers the vertical load from the piston to the pot and allows the bearing to rotate.

### POT (STEEL RING + BASE PLATE)

Confines the elastomer and eventually transfer vertical and horizontal loads to the substructure and bolts, respectively.

### BOLTS AND SOCKETS

Resist horizontal loads.



1. For free and guided bearings only  
2. For guided bearings only

**VSL-CTT Pot Bearings meet the industry's highest quality requirements.**

## CE MARK



## VSL-CTT Pot bearings are CE approved.

The quality of the materials and workmanship are ensured by Quality Control Plans regularly audited and revised to meet any particular specification.

## CORROSION PROTECTION



Steel areas exposed to the atmosphere are protected with a corrosion protection system in accordance with projects requirements and / or relevant international standards.

## TESTING



The quality and conformity behaviour of VSL-CTT Pot Bearings are regularly checked at accredited test laboratories with:

- Vertical load tests
- Combined vertical and horizontal load tests
- Friction tests

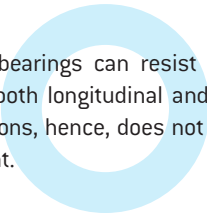


# STANDARD VSL-CTT POT BEARINGS:

Providing the best solutions to meet the client's requirements



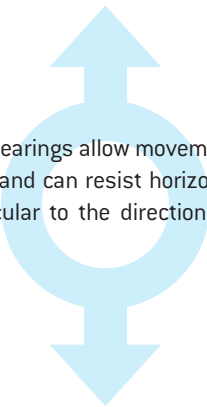
PF Type bearings can resist horizontal loads in both longitudinal and transverse directions, hence, does not allow any movement.



High Speed Railway Bujaraloz, Spain



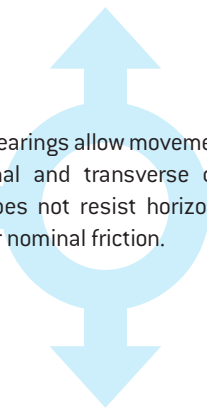
PU Type bearings allow movement in one direction and can resist horizontal loads perpendicular to the direction of movement



Pont de Lully, Switzerland



PL Type bearings allow movement in both longitudinal and transverse directions, hence, does not resist horizontal loads except for nominal friction.



River Miño Bridge - Spain

## CE MARK

VSL-CTT Pot bearings are designed in accordance to the most important standards worldwide:

- AASHTO – American Association of State Highway and Transport Officials
- BS 5400 – British Standard – Section 9.1 and 9.2
- EN 1337 – European Norm

All bearings designed and manufacturing according to Euronorm are CE Marked.



**The flexibility of VSL-CTT Pot Bearings allow a most flexible freedom for design and construction.**

# SPECIAL POT BEARINGS:

## Tailormade for even the most challenging project

VSL-CTT manufactures special tailor-made Pot Bearings designed to fit particular technical specifications and requirements of individual projects.

VSL-CTT offers a wide range of technical solutions for the design of special Pot Bearings.

VSL-CTT technical department has the capability to develop innovative alternatives to standard products.

**The wide and elaborated range of VSL Pot Bearings and their advantageous under one roof manufacture make them to be a preference for any demanding bridge project.**

### ILM POT BEARING

- Bearings with low friction surface for the sliding of structures using the Incremental Launching Method.
- Bearings are temporary and permanent with significant cost saving.

ILM Pot bearing



### LOAD CELL POT BEARING

- Bearings with electronic transducers for the monitoring of the vertical load.
- Data loads can be collected manually or automatically (optional).





# ACCESSORIES

## To meet the most stringent requirements

### ANTI-DUST SKIRT

As the name suggests, this device is installed to protect the sliding surfaces of the bearing from dust which could affect the friction coefficient.

This is recommended for both PL and PU bearing types.

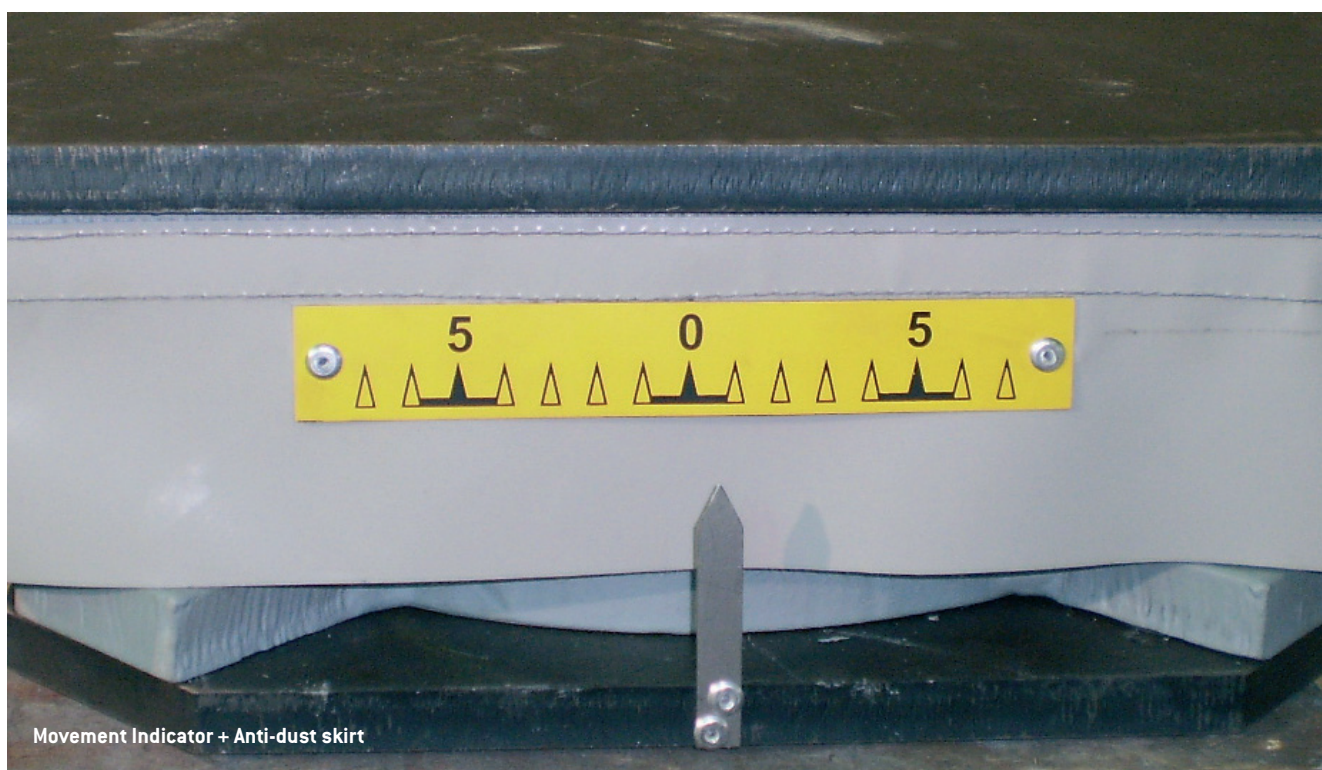
The neoprene skirts are attached to the top plate of the bearing through a metal ruler.

### BEARING WITH ELECTRICAL ISOLATION

- Bearings with electrical isolation to avoid the pass of the electricity through the bearing.
- Required on some countries for Railway bridges.

### MOVEMENT INDICATOR

This apparatus is designed to measure the horizontal movements of the bearing and indicate pre-setting.



### DESIGN OF POT BEARINGS

Our Technical Department is available to supply any specific information in order to assist designers from the early conceptual stage.

It should be pointed out that the cost of Pot bearings varies with the changes in design parameters.

For instance, the allowable bearing pressure on the concrete has a major influence. It is advised that bursting reinforcement should be designed and incorporated in concrete bearing seating areas to enhance its bearing capacity.

This will significantly reduce the size of

the bearings, which, in most cases result in savings.

To assess the optimum Pot Bearing dimensions for your application and to carry out a detailed design, please contact your local VSL-CTT office.

### TECHNICAL DATA SHEETS

Design of Pot Bearings can be substantially influenced by local codes and projects requirements. VSL-CTT Pot bearings datasheets are available for design according to a variety of International Codes of designs and Practices.

Dimensions given in the following technical data sheets are indicative, representing a pre-sizing of the three different types of Pot bearings. They are given to make the design engineer's work easier and should be used with caution,

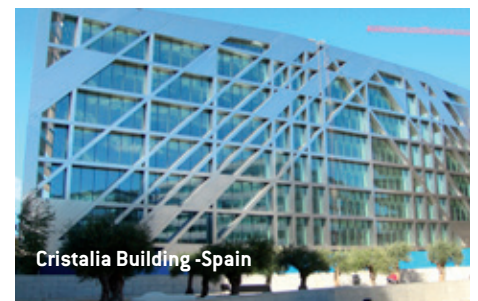
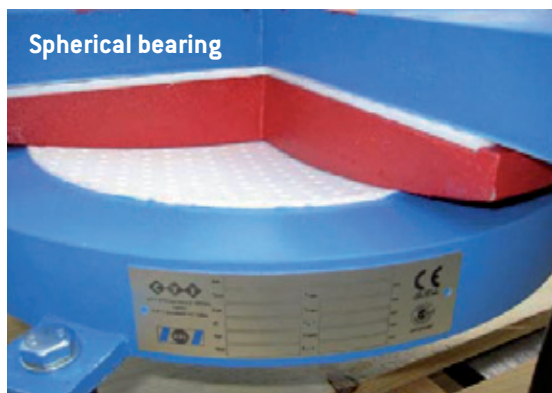
bearing in mind that they are calculated from the design assumptions table stated in the relevant Design code Technical datasheet. For other combinations of loadings and movements, please contact a VSL-CTT representative in your area.

## VSL can offer the complete package

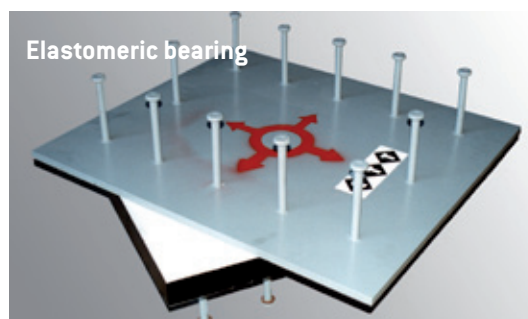
VSL does not only install bearings on new project, but can also advice you on replacement, maintenance and condition evaluation of existing bearings.

When replacing bearings VSL Heavy Lifting has the know-how and experinece to provide an economic and suitable solution. The approach of VSL Heavy Lifting Engineers is flexible and the range of services is tailored to the specific project requirements.

VSL-CTT bearings are also available on other types as elastomeric or spherical



For decades, VSL-CTT Pot Bearings have proven their reliability and durability in hundreds of references throughout the world. VSL-CTT know-how and experience is the best base for future projects.







[www.ctt-stronghold.com](http://www.ctt-stronghold.com)

## HEADQUARTERS SPAIN

VSL / CTT-STRONGHOLD, S.A  
BARCELONA

Phone: +34 93 289 23 30

Fax: +34 93 289 23 31

## ALL YOU NEED IN BEARING'S TECHNOLOGY

# VSL LOCATIONS

## Americas

### ARGENTINA

VSL Sistemas Especiales de  
Construcción Argentina S.A.  
BUENOS AIRES  
Phone: +54 11 4326 06 09  
Fax: +54 11 4326 26 50

### BOLIVIA

Postensados de Bolivia  
San Miguel, LA PAZ  
Phone: +591 2 27 70 338  
Fax: +591 2 27 96 183

### CHILE

VSL Sistemas Especiales de  
Construcción S.A.  
SANTIAGO  
Phone: +56 2 571 67 00  
Fax: +56 2 571 67 01

### COLOMBIA

Sistemas Especiales de  
Construcción S.A.S.  
BOGOTA  
Phone: +57 1 226 62 30  
Fax: +57 1 271 50 65

### MEXICO

VSL Corporation Mexico  
S.A. de C.V.  
MEXICO  
Phone: +52 55 55 11 20 36  
Fax: +52 55 55 11 40 03

### PERU

Sistemas Especiales de  
Construcción Peru S.A.  
LIMA  
Phone: +51 1 349 38 38  
Fax: +51 1 348 28 78

### UNITED STATES

VStructural LLC  
BALTIMORE, MD  
Phone: +1 410 850 7000  
Fax: +1 410 850 4111

### VENEZUELA

Gestión de Obras y  
Construcciones C.A.  
CARACAS  
Phone: +58 212 941 86 75  
Fax: +58 212 941 86 75

## Asia

### BRUNEI

VSL Systems (B) Sdn. Bhd.  
BRUNEI DARUSSALAM  
Phone: +673 2 380 153 /  
381 827  
Fax: +673 2 381 954

### CHINA PRC

VSL (China) Engineering  
Corp., Ltd.  
HEFEI  
Phone: +86 551 382 29 18  
Fax: +86 551 382 28 78

### HONG KONG

VSL Hong Kong Ltd.  
CHAI WAN  
Phone: +852 2590 22 88  
Fax: +852 2590 02 90

Intrafor Hong Kong Ltd.  
CHAI WAN  
Phone: +852 2836 31 12  
Fax: +852 2591 61 39

FT Laboratories Ltd  
PING CHE  
Phone: +852 2758 48 61  
Fax: +852 2758 89 62

### INDIA

VSL India Private Ltd.  
CHENNAI  
Phone: +91 44 4225 11 11  
Fax: +91 44 4225 10 10

### INDONESIA

PT VSL Indonesia  
JAKARTA  
Phone: +62 21 570 07 86  
Fax: +62 21 573 75 57

### JAPAN

VSL Japan Corporation  
TOKYO  
Phone: +81 3 3346 8913  
Fax: +81 3 3345 9153

### KOREA

VSL Korea Co. Ltd.  
SEOUL  
Phone: +82 2 553 8200  
Fax: +82 2 553 8255

### MALAYSIA

VSL Engineers (M) Sdn. Bhd.  
Kuala Lumpur  
Phone: +60 3 7981 4742  
Fax: +60 3 7981 8422

### PHILIPPINES

VSL Philippines Inc.  
PASIG City  
Phone: +632 723 13 95  
Fax: +632 723 13 95

### SINGAPORE

VSL Singapore Pte. Ltd.  
SINGAPORE  
Phone: +65 6559 12 22  
Fax: +65 6257 77 51

### TAIWAN

VSL Taiwan Ltd.  
TAIPEI  
Phone: +886 2 2759 68 19  
Fax: +886 2 2759 68 21

### THAILAND

VSL (Thailand) Co. Ltd.  
Bangkok  
Phone: +66 2 679 76 15 - 19  
Fax: +66 2 679 76 45

### VIETNAM

VSL Vietnam Ltd.  
HANOI  
Phone: +84 4 3976 5088  
Fax: +84 4 3976 5089

Ho Chi Minh City  
Phone: +84 8 810 6817  
Fax: +84 8 810 6818

## Australia

VSL Australia Pty Ltd  
NEW SOUTH WALES  
Phone: +61 2 9484 5944  
Fax: +61 2 9875 3894

### QUEENSLAND

Phone: +61 7 3265 64 00  
Fax: +61 7 3265 75 34

### VICTORIA

Phone: +61 3 979 503 66  
Fax: +61 3 979 505 47

### SOUTH AUSTRALIA

Phone: +61 8 8354 4884  
Fax: +61 8 8354 4883

### TASMANIA

Phone: +61 3 6225 3567  
Fax: +61 3 6225 2226

### PERTH

Phone/Fax: +61 8 9523 4686

## Europe

### AUSTRIA

Grund-Pfahl- und Sonderbau  
GmbH  
HIMBERG  
Phone: +43 2235 87 777  
Fax: +43 2235 86 561

### CROATIA

Tehni ki projekt d.o.o.  
10000 Zagreb  
Phone: +385 1 4664 586  
Fax: +385 1 4664 549

### CZECH REPUBLIC

VSL SYSTEMS (CZ) Ltd.  
PRAGUE  
Phone: +420 2 51 09 16 80  
Fax: +420 2 51 09 16 99

### FRANCE

VSL France S.A.  
LABÈGE  
Phone: +33 05 61 00 96 59  
Fax: +33 05 61 00 96 62

### GERMANY

VSL Systems GmbH  
BERLIN  
Phone: +49 30 53 028 060  
Fax: +49 30 53 028 0699

### GREAT BRITAIN

VSL Systems (UK) Ltd.  
BEDFORDSHIRE  
Phone: +41 58 456 30 30  
Fax: +41 58 456 30 35

### NETHERLANDS

Heijmans Beton en Water-  
bouw B.V.  
ROSMALLEN  
Phone: +31 73 543 66 02  
Fax: +31 73 543 66 11

### NORWAY

SPENNARMERING NORGE AS  
RUD  
Phone: +47 98 21 02 66  
Fax: +47 67 17 30 01

### PORTUGAL

VSL Sistemas Portugal  
Pre-Esforço, Equipamento  
e Montagens SA  
S. DOMINGOS DE RANA  
Phone: +351 21 445 83 10  
Fax: +351 21 444 63 77

VSL GEO  
Sistemas de Aplicação em  
Geotecnia SA  
S. DOMINGOS DE RANA  
Phone: +351 21 445 83 10  
Fax: +351 21 445 83 28

### SPAIN

CTT Stronghold  
BARCELONA  
Phone: +34 93 289 23 30  
Fax: +34 93 289 23 31

### VSL-SPAM, S.A.

BARCELONA  
Phone: +34 93 846 70 07  
Fax: +34 93 846 51 97

### SWEDEN

Internordisk Spännarme-  
ring AB  
VÄSTERHANINGE  
Phone: +46 10 448 74 29  
Fax: +46 8 753 49 73

### SWITZERLAND

VSL (Switzerland) Ltd.  
SUBINGEN  
Phone: +41 58 456 30 30  
Fax: +41 58 456 30 35

### VSL (Suisse) SA

SAINT LEGIER  
Phone: +41 58 456 30 00  
Fax: +41 58 456 30 95

### TURKEY

MEGA YAPI Construction  
& Trade Co. Ltd.  
ANKARA  
Phone: +90 312 490 90 66  
Fax: +90 312 490 90 55

## Africa

### EGYPT

Matrix Engineering Company  
CAIRO  
Phone: +20 2 344 19 00  
Fax: +20 2 346 04 57

### SOUTH AFRICA

Tsala-RMS Construction  
Solutions (Pty) Ltd  
JOHANNESBURG  
Phone: +27 11 878 6820  
Fax: +27 11 878 6821

## Middle East

### UNITED ARAB EMIRATES

VSL Middle East LLC  
DUBAI, UAE  
Phone: +971 4 885 7225  
Fax: +971 4 885 7226

### Syria

Kahaleh for consulting engineering  
DAMASCUS  
Phone: +963 11 23 24 702  
Fax: +963 11 22 14 595

### DOHA, QATAR

Phone: +974 423 1117  
Fax: +974 423 1100



# VSL – CTT POT BEARINGS

## Type PF

Bearings type PF can support horizontal loads in both longitudinal and transverse directions and don't allow any movement.

## H1



## Bearings according to Euronorm EN 1337

| BEARING TYPE       | V MAX ULS (kN) | H MAX ULS (kN) | V MAX SLS (kN) | H MAX SLS (kN) | V min SLS, ULS (kN) | Aprox. Weight (kg) |
|--------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|---------------------|--------------------|
| PF 100/70/H1 EN    | 977            | 105            | 700            | 70             | 350                 | 29                 |
| PF 200/140/H1 EN   | 1953           | 210            | 1400           | 140            | 700                 | 42                 |
| PF 300/220/H1 EN   | 3069           | 330            | 2200           | 220            | 1100                | 59                 |
| PF 390/280/H1 EN   | 3906           | 420            | 2800           | 280            | 1400                | 76                 |
| PF 490/350/H1 EN   | 4883           | 525            | 3500           | 350            | 1750                | 94                 |
| PF 630/450/H1 EN   | 6278           | 675            | 4500           | 450            | 2250                | 124                |
| PF 700/500/H1 EN   | 6975           | 750            | 5000           | 500            | 2500                | 139                |
| PF 840/600/H1 EN   | 8370           | 900            | 6000           | 600            | 3000                | 176                |
| PF 900/650/H1 EN   | 9068           | 975            | 6500           | 650            | 3250                | 200                |
| PF 1000/700/H1 EN  | 9765           | 1050           | 7000           | 700            | 3500                | 215                |
| PF 1100/800/H1 EN  | 11160          | 1200           | 8000           | 800            | 4000                | 250                |
| PF 1200/850/H1 EN  | 11858          | 1275           | 8500           | 850            | 4250                | 273                |
| PF 1320/950/H1 EN  | 13253          | 1425           | 9500           | 950            | 4750                | 317                |
| PF 1400/1000/H1 EN | 13950          | 1500           | 10000          | 1000           | 5000                | 346                |
| PF 1535/1100/H1 EN | 15345          | 1650           | 11000          | 1100           | 5500                | 381                |
| PF 1700/1200/H1 EN | 16740          | 1800           | 12000          | 1200           | 6000                | 464                |
| PF 1800/1300/H1 EN | 18135          | 1950           | 13000          | 1300           | 6500                | 506                |
| PF 2000/1400/H1 EN | 19530          | 2100           | 14000          | 1400           | 7000                | 551                |
| PF 2100/1500/H1 EN | 20925          | 2250           | 15000          | 1500           | 7500                | 622                |
| PF 2200/1600/H1 EN | 22320          | 2400           | 16000          | 1600           | 8000                | 723                |
| PF 2400/1700/H1 EN | 23715          | 2550           | 17000          | 1700           | 8500                | 805                |
| PF 2500/1800/H1 EN | 25110          | 2700           | 18000          | 1800           | 9000                | 918                |
| PF 2650/1900/H1 EN | 26505          | 2850           | 19000          | 1900           | 9500                | 975                |
| PF 2800/2000/H1 EN | 27900          | 3000           | 20000          | 2000           | 10000               | 1048               |
| PF 3000/2200/H1 EN | 30690          | 3300           | 22000          | 2200           | 11000               | 1125               |

**Bearings have been designed with the following parameters :**

Concrete on Deck is H40 (fck = 40 Mpa)

Concrete on Piers and Abutment is H30 (fck = 30 Mpa)

Maximum Horizontal load is 10% of the Vertical load

Minimum load at SLS and ULS is 50% of Maximum Vertical load at SLS

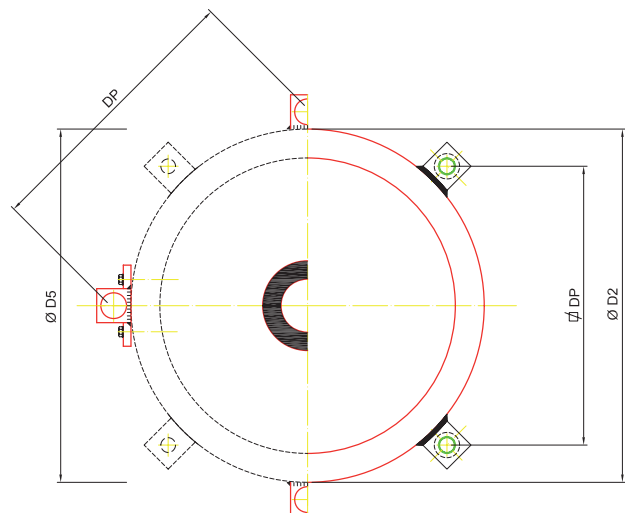
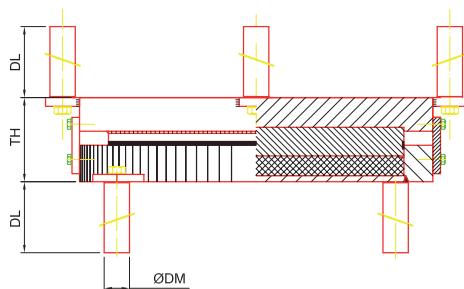
Rotation 0,01 rad

Other models are available under request



## Main Dimensions

| BEARING TYPE       | Pot Ø D2 (mm) | Total height TH (mm) | Top Plate Dimensions Ø D5 (mm) | Recommended Pier Ø (mm) | DM Ø (mm) | DL (mm) | DP (mm) |
|--------------------|---------------|----------------------|--------------------------------|-------------------------|-----------|---------|---------|
| PF 100/70/H1 EN    | 230           | 76                   | 230                            | 368                     | 30        | 150     | 205     |
| PF 200/140/H1 EN   | 295           | 76                   | 295                            | 472                     | 30        | 150     | 251     |
| PF 300/220/H1 EN   | 352           | 80                   | 352                            | 563                     | 30        | 150     | 291     |
| PF 390/280/H1 EN   | 404           | 83                   | 404                            | 646                     | 30        | 150     | 328     |
| PF 490/350/H1 EN   | 450           | 85                   | 450                            | 720                     | 30        | 150     | 361     |
| PF 630/450/H1 EN   | 514           | 88                   | 514                            | 822                     | 30        | 150     | 406     |
| PF 700/500/H1 EN   | 543           | 90                   | 543                            | 869                     | 30        | 150     | 426     |
| PF 840/600/H1 EN   | 592           | 98                   | 592                            | 947                     | 30        | 150     | 461     |
| PF 900/650/H1 EN   | 617           | 104                  | 617                            | 987                     | 30        | 150     | 479     |
| PF 1000/700/H1 EN  | 638           | 105                  | 638                            | 1021                    | 30        | 150     | 494     |
| PF 1100/800/H1 EN  | 682           | 108                  | 682                            | 1091                    | 30        | 150     | 525     |
| PF 1200/850/H1 EN  | 713           | 109                  | 713                            | 1141                    | 30        | 150     | 547     |
| PF 1320/950/H1 EN  | 751           | 114                  | 751                            | 1202                    | 30        | 150     | 573     |
| PF 1400/1000/H1 EN | 771           | 115                  | 771                            | 1234                    | 40        | 200     | 588     |
| PF 1535/1100/H1 EN | 806           | 117                  | 806                            | 1290                    | 40        | 200     | 612     |
| PF 1700/1200/H1 EN | 842           | 129                  | 842                            | 1347                    | 40        | 200     | 638     |
| PF 1800/1300/H1 EN | 876           | 131                  | 876                            | 1402                    | 40        | 200     | 662     |
| PF 2000/1400/H1 EN | 910           | 133                  | 910                            | 1456                    | 40        | 200     | 686     |
| PF 2100/1500/H1 EN | 943           | 139                  | 943                            | 1509                    | 40        | 200     | 709     |
| PF 2200/1600/H1 EN | 985           | 142                  | 985                            | 1576                    | 60        | 300     | 753     |
| PF 2400/1700/H1 EN | 1010          | 153                  | 1010                           | 1616                    | 60        | 300     | 771     |
| PF 2500/1800/H1 EN | 1037          | 154                  | 1037                           | 1659                    | 60        | 300     | 790     |
| PF 2650/1900/H1 EN | 1066          | 156                  | 1066                           | 1706                    | 60        | 300     | 810     |
| PF 2800/2000/H1 EN | 1104          | 158                  | 1104                           | 1766                    | 60        | 300     | 837     |
| PF 3000/2200/H1 EN | 1134          | 160                  | 1134                           | 1814                    | 60        | 300     | 858     |



The dimensions given are indicative. Designs and dimensions can be modified by VSL-CTT without prior notification.



# VSL – CTT POT BEARINGS

## Type PF

Bearings type PF can support horizontal loads in both longitudinal and transverse directions and don't allow any movement.

## H2



## Bearings according to Euronorm EN 1337

| BEARING TYPE       | V MAX ULS (kN) | H MAX ULS (kN) | V MAX SLS (kN) | H MAX SLS (kN) | V min SLS, ULS (kN) | Aprox. Weight (kg) |
|--------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|---------------------|--------------------|
| PF 100/70/H2 EN    | 977            | 210            | 700            | 140            | 350                 | 29                 |
| PF 200/140/H2 EN   | 1.953          | 420            | 1.400          | 280            | 700                 | 44                 |
| PF 300/220/H2 EN   | 3.069          | 660            | 2.200          | 440            | 1.100               | 70                 |
| PF 390/280/H2 EN   | 3.906          | 840            | 2.800          | 560            | 1.400               | 102                |
| PF 490/350/H2 EN   | 4.883          | 1.050          | 3.500          | 700            | 1.750               | 124                |
| PF 630/450/H2 EN   | 6.278          | 1.350          | 4.500          | 900            | 2.250               | 173                |
| PF 700/500/H2 EN   | 6.975          | 1.500          | 5.000          | 1.000          | 2.500               | 231                |
| PF 840/600/H2 EN   | 8.370          | 1.800          | 6.000          | 1.200          | 3.000               | 284                |
| PF 900/650/H2 EN   | 9.068          | 1.950          | 6.500          | 1.300          | 3.250               | 319                |
| PF 1000/700/H2 EN  | 9.765          | 2.100          | 7.000          | 1.400          | 3.500               | 340                |
| PF 1120/800/H2 EN  | 11.160         | 2.400          | 8.000          | 1.600          | 4.000               | 389                |
| PF 1200/850/H2 EN  | 11.858         | 2.550          | 8.500          | 1.700          | 4.250               | 423                |
| PF 1320/950/H2 EN  | 13.253         | 2.850          | 9.500          | 1.900          | 4.750               | 484                |
| PF 1400/1000/H2 EN | 13.950         | 3.000          | 10.000         | 2.000          | 5.000               | 512                |
| PF 1535/1100/H2 EN | 15.345         | 3.300          | 11.000         | 2.200          | 5.500               | 637                |
| PF 1700/1200/H2 EN | 16.740         | 3.600          | 12.000         | 2.400          | 6.000               | 722                |
| PF 1800/1300/H2 EN | 18.135         | 3.900          | 13.000         | 2.600          | 6.500               | 832                |
| PF 2000/1400/H2 EN | 19.530         | 4.200          | 14.000         | 2.800          | 7.000               | 904                |
| PF 2100/1500/H2 EN | 20.925         | 4.500          | 15.000         | 3.000          | 7.500               | 971                |
| PF 2250/1600/H2 EN | 22.320         | 4.800          | 16.000         | 3.200          | 8.000               | 1.186              |
| PF 2400/1700/H2 EN | 23.715         | 5.100          | 17.000         | 3.400          | 8.500               | 1.248              |
| PF 2500/1800/H2 EN | 25.110         | 5.400          | 18.000         | 3.600          | 9.000               | 1.214              |
| PF 2650/1900/H2 EN | 26.505         | 5.700          | 19.000         | 3.800          | 9.500               | 1.538              |
| PF 2800/2000/H2 EN | 27.900         | 6.000          | 20.000         | 4.000          | 10.000              | 1.650              |
| PF 3000/2200/H2 EN | 30.690         | 6.600          | 22.000         | 4.400          | 11.000              | 1.783              |

### Bearings have been designed with the following parameters :

Concrete on Deck is H40 (fck = 40 Mpa)

Concrete on Piers and Abutment is H30 (fck = 30 Mpa)

Maximum Horizontal load is 20% of the Vertical load

Minimum load at SLS and ULS is 50% of Maximum Vertical load at SLS

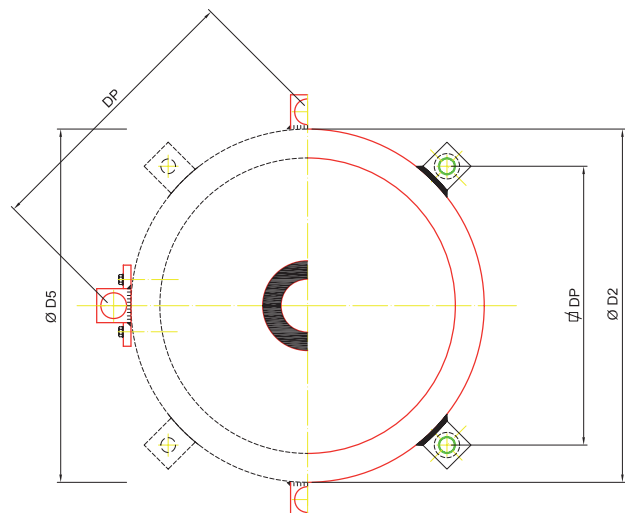
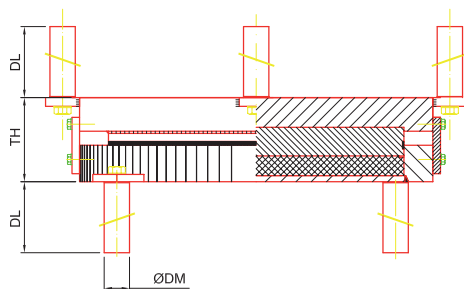
Rotation 0,01 rad

Other models are available under request



## Main Dimensions

| BEARING TYPE       | Pot Ø D2 (mm) | Total height TH (mm) | Top Plate Dimensions Ø D5 (mm) | Recommended Pier Ø (mm) | DM Ø (mm) | DL (mm) | DP (mm) |
|--------------------|---------------|----------------------|--------------------------------|-------------------------|-----------|---------|---------|
| PF 100/70/H2 EN    | 230           | 76                   | 230                            | 368                     | 30        | 150     | 205     |
| PF 200/140/H2 EN   | 302           | 76                   | 302                            | 483                     | 30        | 150     | 256     |
| PF 300/220/H2 EN   | 378           | 85                   | 378                            | 605                     | 30        | 150     | 310     |
| PF 390/280/H2 EN   | 434           | 88                   | 434                            | 694                     | 40        | 200     | 349     |
| PF 490/350/H2 EN   | 480           | 90                   | 480                            | 768                     | 40        | 200     | 382     |
| PF 630/450/H2 EN   | 550           | 101                  | 550                            | 880                     | 40        | 200     | 431     |
| PF 700/500/H2 EN   | 578           | 103                  | 578                            | 925                     | 60        | 300     | 465     |
| PF 840/600/H2 EN   | 624           | 116                  | 624                            | 998                     | 60        | 300     | 498     |
| PF 900/650/H2 EN   | 650           | 122                  | 650                            | 1.040                   | 60        | 300     | 516     |
| PF 1000/700/H2 EN  | 672           | 123                  | 672                            | 1.075                   | 60        | 300     | 532     |
| PF 1120/800/H2 EN  | 720           | 126                  | 720                            | 1.152                   | 60        | 300     | 566     |
| PF 1200/850/H2 EN  | 754           | 127                  | 754                            | 1.206                   | 60        | 300     | 590     |
| PF 1320/950/H2 EN  | 780           | 139                  | 780                            | 1.248                   | 60        | 300     | 608     |
| PF 1400/1000/H2 EN | 802           | 140                  | 802                            | 1.283                   | 60        | 300     | 624     |
| PF 1535/1100/H2 EN | 838           | 152                  | 838                            | 1.341                   | 60        | 300     | 656     |
| PF 1700/1200/H2 EN | 878           | 159                  | 878                            | 1.405                   | 70        | 350     | 684     |
| PF 1800/1300/H2 EN | 912           | 161                  | 912                            | 1.459                   | 70        | 350     | 709     |
| PF 2000/1400/H2 EN | 950           | 163                  | 950                            | 1.520                   | 70        | 350     | 735     |
| PF 2100/1500/H2 EN | 986           | 164                  | 986                            | 1.578                   | 80        | 400     | 768     |
| PF 2250/1600/H2 EN | 1.028         | 177                  | 1028                           | 1.645                   | 80        | 400     | 798     |
| PF 2400/1700/H2 EN | 1.054         | 178                  | 1054                           | 1.686                   | 80        | 400     | 816     |
| PF 2500/1800/H2 EN | 1.082         | 184                  | 1082                           | 1.731                   | 90        | 450     | 836     |
| PF 2650/1900/H2 EN | 1.114         | 196                  | 1114                           | 1.782                   | 90        | 450     | 858     |
| PF 2800/2000/H2 EN | 1.156         | 198                  | 1156                           | 1.850                   | 90        | 450     | 888     |
| PF 3000/2200/H2 EN | 1.200         | 200                  | 1200                           | 1.920                   | 90        | 450     | 919     |



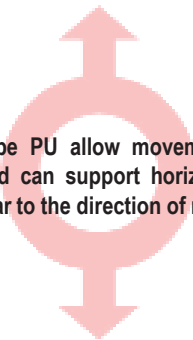
The dimensions given are indicative. Desings and dimensions can be modified by VSL-CTT without prior notification.



# VSL – CTT POT BEARINGS

## Type PU

Bearings type PU allow movement in one direction and can support horizontal loads perpendicular to the direction of movement.



H1



## Bearings according to Euronorm EN 1337

| BEARING TYPE       | V MAX ULS (kN) | H MAX ULS (kN) | V MAX SLS (kN) | H MAX SLS (kN) | V min SLS, ULS (kN) | Aprox. Weight (kg) |
|--------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|---------------------|--------------------|
| PU 100/70/H1 EN    | 977            | 105            | 700            | 70             | 350                 | 39                 |
| PU 200/140/H1 EN   | 1953           | 210            | 1400           | 140            | 700                 | 55                 |
| PU 300/220/H1 EN   | 3069           | 330            | 2200           | 220            | 1100                | 74                 |
| PU 390/280/H1 EN   | 3906           | 420            | 2800           | 280            | 1400                | 92                 |
| PU 490/350/H1 EN   | 4883           | 525            | 3500           | 350            | 1750                | 111                |
| PU 630/450/H1 EN   | 6278           | 675            | 4500           | 450            | 2250                | 144                |
| PU 700/500/H1 EN   | 6975           | 750            | 5000           | 500            | 2500                | 161                |
| PU 840/600/H1 EN   | 8370           | 900            | 6000           | 600            | 3000                | 234                |
| PU 900/650/H1 EN   | 9068           | 975            | 6500           | 650            | 3250                | 260                |
| PU 1000/700/H1 EN  | 9765           | 1050           | 7000           | 700            | 3500                | 281                |
| PU 1100/800/H1 EN  | 11160          | 1200           | 8000           | 800            | 4000                | 323                |
| PU 1200/850/H1 EN  | 11858          | 1275           | 8500           | 850            | 4250                | 354                |
| PU 1320/950/H1 EN  | 13253          | 1425           | 9500           | 950            | 4750                | 405                |
| PU 1400/1000/H1 EN | 13950          | 1500           | 10000          | 1000           | 5000                | 439                |
| PU 1535/1100/H1 EN | 15345          | 1650           | 11000          | 1100           | 5500                | 481                |
| PU 1700/1200/H1 EN | 16740          | 1800           | 12000          | 1200           | 6000                | 532                |
| PU 1800/1300/H1 EN | 18135          | 1950           | 13000          | 1300           | 6500                | 577                |
| PU 2000/1400/H1 EN | 19530          | 2100           | 14000          | 1400           | 7000                | 630                |
| PU 2100/1500/H1 EN | 20925          | 2250           | 15000          | 1500           | 7500                | 745                |
| PU 2200/1600/H1 EN | 22320          | 2400           | 16000          | 1600           | 8000                | 898                |
| PU 2400/1700/H1 EN | 23715          | 2550           | 17000          | 1700           | 8500                | 947                |
| PU 2500/1800/H1 EN | 25110          | 2700           | 18000          | 1800           | 9000                | 999                |
| PU 2650/1900/H1 EN | 26505          | 2850           | 19000          | 1900           | 9500                | 1067               |
| PU 2800/2000/H1 EN | 27900          | 3000           | 20000          | 2000           | 10000               | 1187               |
| PU 3000/2200/H1 EN | 30690          | 3300           | 22000          | 2200           | 11000               | 1272               |

**Bearings have been designed with the following parameters :**

Concrete on Deck is H40 (fck = 40 Mpa)

Concrete on Piers and Abutment is H30 (fck = 30 Mpa)

Maximum Horizontal load is 10% of the Vertical load

Minimum load at SLS and ULS is 50% of Maximum Vertical load at SLS

Movement  $\pm 50$  mm

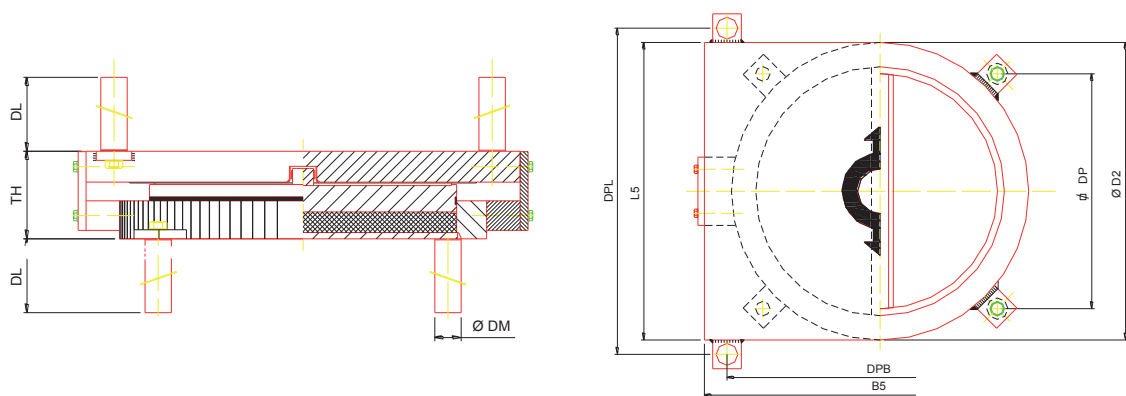
Rotation 0,01 rad

Other models are available under request



## Main Dimensions

| BEARING TYPE       | Pot Ø D2 (mm) | Total height TH (mm) | Top Plate Dimensions L5 x B5 (mm) | Recommended Pier Ø (mm) | DM Ø (mm) | DL (mm) | DPL (mm) | DPB (mm) | DP (mm) |
|--------------------|---------------|----------------------|-----------------------------------|-------------------------|-----------|---------|----------|----------|---------|
| PU 100/70/H1 EN    | 250           | 83                   | 290 x 250                         | 400                     | 30        | 150     | 200      | 310      | 219     |
| PU 200/140/H1 EN   | 307           | 84                   | 347 x 307                         | 491                     | 30        | 150     | 257      | 367      | 260     |
| PU 300/220/H1 EN   | 360           | 87                   | 400 x 360                         | 576                     | 30        | 150     | 310      | 420      | 297     |
| PU 390/280/H1 EN   | 406           | 90                   | 435 x 406                         | 650                     | 30        | 150     | 345      | 466      | 330     |
| PU 490/350/H1 EN   | 452           | 92                   | 468 x 452                         | 723                     | 30        | 150     | 378      | 512      | 362     |
| PU 630/450/H1 EN   | 516           | 95                   | 518 x 516                         | 826                     | 30        | 150     | 428      | 576      | 407     |
| PU 700/500/H1 EN   | 546           | 97                   | 546 x 546                         | 874                     | 30        | 150     | 456      | 606      | 429     |
| PU 840/600/H1 EN   | 600           | 115                  | 600 x 600                         | 960                     | 30        | 150     | 510      | 660      | 467     |
| PU 900/650/H1 EN   | 620           | 121                  | 620 x 620                         | 992                     | 30        | 150     | 530      | 680      | 481     |
| PU 1000/700/H1 EN  | 642           | 122                  | 642 x 642                         | 1027                    | 30        | 150     | 552      | 702      | 496     |
| PU 1100/800/H1 EN  | 685           | 125                  | 685 x 685                         | 1096                    | 30        | 150     | 595      | 745      | 527     |
| PU 1200/850/H1 EN  | 716           | 126                  | 716 x 716                         | 1146                    | 30        | 150     | 626      | 776      | 549     |
| PU 1320/950/H1 EN  | 752           | 131                  | 752 x 752                         | 1203                    | 30        | 150     | 662      | 812      | 574     |
| PU 1400/1000/H1 EN | 774           | 132                  | 774 x 774                         | 1238                    | 40        | 200     | 684      | 834      | 590     |
| PU 1535/1100/H1 EN | 806           | 134                  | 806 x 806                         | 1290                    | 40        | 200     | 716      | 866      | 612     |
| PU 1700/1200/H1 EN | 846           | 136                  | 846 x 846                         | 1354                    | 40        | 200     | 756      | 906      | 641     |
| PU 1800/1300/H1 EN | 877           | 138                  | 877 x 877                         | 1403                    | 40        | 200     | 787      | 937      | 663     |
| PU 2000/1400/H1 EN | 914           | 140                  | 914 x 914                         | 1462                    | 40        | 200     | 824      | 974      | 689     |
| PU 2100/1500/H1 EN | 948           | 156                  | 948 x 948                         | 1517                    | 40        | 200     | 858      | 1008     | 713     |
| PU 2200/1600/H1 EN | 988           | 169                  | 988 x 988                         | 1581                    | 40        | 200     | 898      | 1048     | 741     |
| PU 2400/1700/H1 EN | 1013          | 170                  | 1013 x 1013                       | 1621                    | 40        | 200     | 923      | 1073     | 759     |
| PU 2500/1800/H1 EN | 1038          | 171                  | 1038 x 1038                       | 1661                    | 40        | 200     | 948      | 1098     | 776     |
| PU 2650/1900/H1 EN | 1070          | 173                  | 1070 x 1070                       | 1712                    | 40        | 200     | 980      | 1130     | 799     |
| PU 2800/2000/H1 EN | 1108          | 175                  | 1108 x 1108                       | 1773                    | 60        | 300     | 998      | 1188     | 840     |
| PU 3000/2200/H1 EN | 1138          | 177                  | 1138 x 1138                       | 1821                    | 60        | 300     | 1028     | 1218     | 861     |



The dimensions given are indicative. Designs and dimensions can be modified by VSL-CTT without prior notification.





# VSL – CTT POT BEARINGS

## Type PU

Bearings type PU allow movement in one direction and can support horizontal loads perpendicular to the direction of movement.

## H2



## Bearings according to Euronorm EN 1337

| BEARING TYPE       | V MAX ULS (kN) | H MAX ULS (kN) | V MAX SLS (kN) | H MAX SLS (kN) | V min SLS, ULS (kN) | Aprox. Weight (kg) |
|--------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|---------------------|--------------------|
| PU 100/70/H2 EN    | 977            | 210            | 700            | 140            | 350                 | 40                 |
| PU 200/140/H2 EN   | 1.953          | 420            | 1.400          | 280            | 700                 | 57                 |
| PU 300/220/H2 EN   | 3.069          | 660            | 2.200          | 440            | 1.100               | 101                |
| PU 390/280/H2 EN   | 3.906          | 840            | 2.800          | 560            | 1.400               | 135                |
| PU 490/350/H2 EN   | 4.883          | 1.050          | 3.500          | 700            | 1.750               | 172                |
| PU 630/450/H2 EN   | 6.278          | 1.350          | 4.500          | 900            | 2.250               | 249                |
| PU 700/500/H2 EN   | 6.975          | 1.500          | 5.000          | 1.000          | 2.500               | 320                |
| PU 840/600/H2 EN   | 8.370          | 1.800          | 6.000          | 1.200          | 3.000               | 377                |
| PU 900/650/H2 EN   | 9.068          | 1.950          | 6.500          | 1.300          | 3.250               | 421                |
| PU 1000/700/H2 EN  | 9.765          | 2.100          | 7.000          | 1.400          | 3.500               | 450                |
| PU 1120/800/H2 EN  | 11.160         | 2.400          | 8.000          | 1.600          | 4.000               | 515                |
| PU 1200/850/H2 EN  | 11.858         | 2.550          | 8.500          | 1.700          | 4.250               | 559                |
| PU 1320/950/H2 EN  | 13.253         | 2.850          | 9.500          | 1.900          | 4.750               | 633                |
| PU 1400/1000/H2 EN | 13.950         | 3.000          | 10.000         | 2.000          | 5.000               | 670                |
| PU 1535/1100/H2 EN | 15.345         | 3.300          | 11.000         | 2.200          | 5.500               | 843                |
| PU 1700/1200/H2 EN | 16.740         | 3.600          | 12.000         | 2.400          | 6.000               | 926                |
| PU 1800/1300/H2 EN | 18.135         | 3.900          | 13.000         | 2.600          | 6.500               | 1.042              |
| PU 2000/1400/H2 EN | 19.530         | 4.200          | 14.000         | 2.800          | 7.000               | 1.150              |
| PU 2100/1500/H2 EN | 20.925         | 4.500          | 15.000         | 3.000          | 7.500               | 1.287              |
| PU 2250/1600/H2 EN | 22.320         | 4.800          | 16.000         | 3.200          | 8.000               | 1.428              |
| PU 2400/1700/H2 EN | 23.715         | 5.100          | 17.000         | 3.400          | 8.500               | 1.559              |
| PU 2500/1800/H2 EN | 25.110         | 5.400          | 18.000         | 3.600          | 9.000               | 1.677              |
| PU 2650/1900/H2 EN | 26.505         | 5.700          | 19.000         | 3.800          | 9.500               | 1.780              |
| PU 2800/2000/H2 EN | 27.900         | 6.000          | 20.000         | 4.000          | 10.000              | 1.913              |
| PU 3000/2200/H2 EN | 30.690         | 6.600          | 22.000         | 4.400          | 11.000              | 2.367              |

### Bearings have been designed with the following parameters :

Concrete on Deck is H40 (fck = 40 Mpa)

Concrete on Piers and Abutment is H30 (fck = 30 Mpa)

Maximum Horizontal load is 20% of the Vertical load

Minimum load at SLS and ULS is 50% of Maximum Vertical load at SLS

Movement ± 50 mm

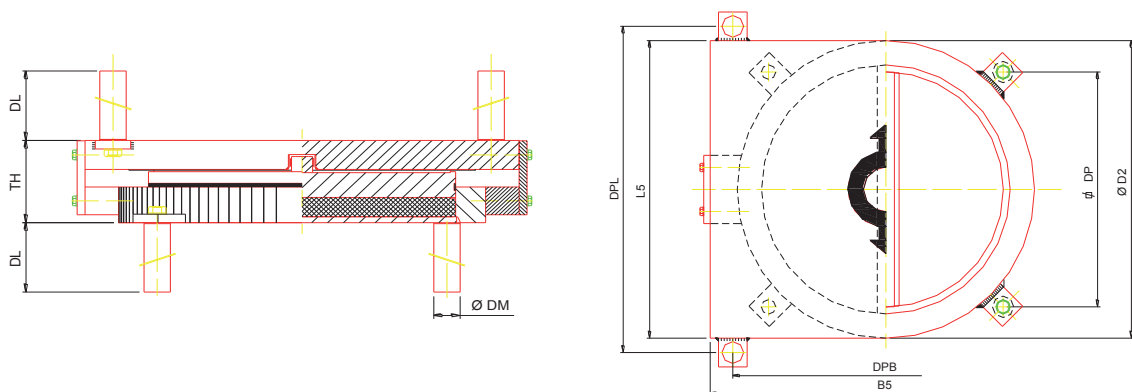
Rotation 0,01 rad

Other models are available under request



## Main Dimensions

| BEARING TYPE       | Pot Ø D2 (mm) | Total height TH (mm) | Top Plate Dimensions L5 x B5 (mm) | Recommended Pier Ø (mm) | DM Ø (mm) | DL (mm) | DPL (mm) | DPB (mm) | DP (mm) |
|--------------------|---------------|----------------------|-----------------------------------|-------------------------|-----------|---------|----------|----------|---------|
| PU 100/70/H2 EN    | 250           | 83                   | 290 x 250                         | 400                     | 30        | 150     | 200      | 310      | 219     |
| PU 200/140/H2 EN   | 312           | 84                   | 347 x 312                         | 499                     | 30        | 150     | 257      | 372      | 263     |
| PU 300/220/H2 EN   | 390           | 103                  | 405 x 390                         | 624                     | 30        | 150     | 315      | 450      | 318     |
| PU 390/280/H2 EN   | 439           | 105                  | 440 x 439                         | 702                     | 40        | 200     | 350      | 499      | 353     |
| PU 490/350/H2 EN   | 492           | 113                  | 492 x 492                         | 787                     | 40        | 200     | 402      | 552      | 390     |
| PU 630/450/H2 EN   | 553           | 129                  | 553 x 553                         | 885                     | 40        | 200     | 463      | 613      | 433     |
| PU 700/500/H2 EN   | 588           | 130                  | 588 x 588                         | 941                     | 60        | 300     | 478      | 668      | 472     |
| PU 840/600/H2 EN   | 624           | 143                  | 624 x 624                         | 998                     | 60        | 300     | 514      | 704      | 498     |
| PU 900/650/H2 EN   | 651           | 149                  | 651 x 651                         | 1.042                   | 60        | 300     | 541      | 731      | 517     |
| PU 1000/700/H2 EN  | 673           | 150                  | 673 x 673                         | 1.077                   | 60        | 300     | 563      | 735      | 532     |
| PU 1120/800/H2 EN  | 721           | 153                  | 721 x 721                         | 1.154                   | 60        | 300     | 611      | 801      | 566     |
| PU 1200/850/H2 EN  | 754           | 154                  | 754 x 754                         | 1.206                   | 60        | 300     | 644      | 834      | 590     |
| PU 1320/950/H2 EN  | 782           | 166                  | 782 x 782                         | 1.251                   | 60        | 300     | 672      | 862      | 610     |
| PU 1400/1000/H2 EN | 804           | 167                  | 804 x 804                         | 1.286                   | 60        | 300     | 694      | 884      | 625     |
| PU 1535/1100/H2 EN | 838           | 184                  | 838 x 838                         | 1.341                   | 70        | 350     | 718      | 928      | 656     |
| PU 1700/1200/H2 EN | 880           | 186                  | 880 x 880                         | 1.408                   | 70        | 350     | 760      | 970      | 686     |
| PU 1800/1300/H2 EN | 914           | 188                  | 914 x 914                         | 1.462                   | 80        | 400     | 784      | 1014     | 717     |
| PU 2000/1400/H2 EN | 944           | 200                  | 944 x 944                         | 1.510                   | 80        | 400     | 814      | 1044     | 738     |
| PU 2100/1500/H2 EN | 978           | 201                  | 978 x 978                         | 1.565                   | 90        | 450     | 848      | 1078     | 762     |
| PU 2250/1600/H2 EN | 1.022         | 214                  | 1022 x 1022                       | 1.635                   | 90        | 450     | 892      | 1122     | 793     |
| PU 2400/1700/H2 EN | 1.048         | 215                  | 1048 x 1048                       | 1.677                   | 90        | 450     | 918      | 1148     | 812     |
| PU 2500/1800/H2 EN | 1.077         | 221                  | 1077 x 1077                       | 1.723                   | 90        | 450     | 947      | 1177     | 832     |
| PU 2650/1900/H2 EN | 1.108         | 223                  | 1108 x 1108                       | 1.773                   | 90        | 450     | 978      | 1208     | 854     |
| PU 2800/2000/H2 EN | 1.151         | 225                  | 1151 x 1151                       | 1.842                   | 90        | 450     | 1021     | 1251     | 885     |
| PU 3000/2200/H2 EN | 1.286         | 234                  | 1286 x 1286                       | 2.058                   | 90        | 450     | 1156     | 1386     | 980     |



The dimensions given are indicative. Designs and dimensions can be modified by VSL-CTT without prior notification.





# VSL – CTT POT BEARINGS

## Type PL

Bearings type PL allows movements in both longitudinal and transverse directions and have no horizontal load capacity (only nominal friction).



## Bearings according to Euronorm EN 1337

| BEARING TYPE    | V MAX ULS (kN) | H MAX ULS (kN) | V MAX SLS (kN) | H MAX SLS (kN) | V min SLS, ULS (kN) | Aprox. Weight (kg) |
|-----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|---------------------|--------------------|
| PL 100/70 EN    | 977            | 29             | 700            | 21             | 350                 | 34                 |
| PL 200/140 EN   | 1953           | 59             | 1400           | 42             | 700                 | 51                 |
| PL 300/220 EN   | 3069           | 92             | 2200           | 66             | 1100                | 70                 |
| PL 390/280 EN   | 3906           | 117            | 2800           | 84             | 1400                | 86                 |
| PL 490/350 EN   | 4883           | 146            | 3500           | 105            | 1750                | 101                |
| PL 630/450 EN   | 6278           | 188            | 4500           | 135            | 2250                | 126                |
| PL 700/500 EN   | 6975           | 209            | 5000           | 150            | 2500                | 140                |
| PL 840/600 EN   | 8370           | 251            | 6000           | 180            | 3000                | 176                |
| PL 900/650 EN   | 9068           | 272            | 6500           | 195            | 3250                | 192                |
| PL 1000/700 EN  | 9765           | 293            | 7000           | 210            | 3500                | 205                |
| PL 1100/800 EN  | 11160          | 335            | 8000           | 240            | 4000                | 236                |
| PL 1200/850 EN  | 11858          | 356            | 8500           | 255            | 4250                | 259                |
| PL 1320/950 EN  | 13253          | 398            | 9500           | 285            | 4750                | 296                |
| PL 1400/1000 EN | 13950          | 419            | 10000          | 300            | 5000                | 323                |
| PL 1535/1100 EN | 15345          | 460            | 11000          | 330            | 5500                | 354                |
| PL 1700/1200 EN | 16740          | 502            | 12000          | 360            | 6000                | 402                |
| PL 1800/1300 EN | 18135          | 544            | 13000          | 390            | 6500                | 438                |
| PL 2000/1400 EN | 19530          | 586            | 14000          | 420            | 7000                | 476                |
| PL 2100/1500 EN | 20925          | 628            | 15000          | 450            | 7500                | 538                |
| PL 2200/1600 EN | 22320          | 670            | 16000          | 480            | 8000                | 591                |
| PL 2400/1700 EN | 23715          | 711            | 17000          | 510            | 8500                | 662                |
| PL 2500/1800 EN | 25110          | 753            | 18000          | 540            | 9000                | 699                |
| PL 2650/1900 EN | 26505          | 795            | 19000          | 570            | 9500                | 745                |
| PL 2800/2000 EN | 27900          | 837            | 20000          | 600            | 10000               | 841                |
| PL 3000/2200 EN | 30690          | 921            | 22000          | 660            | 11000               | 911                |

### Bearings have been designed with the following parameters :

Concrete on Deck is H40 (fck = 40 Mpa)

Concrete on Piers and Abutment is H30 (fck = 30 Mpa)

Minimum load at SLS and ULS is 50% of Maximum Vertical load at SLS

Movements  $\pm 50/ \pm 20$  mm

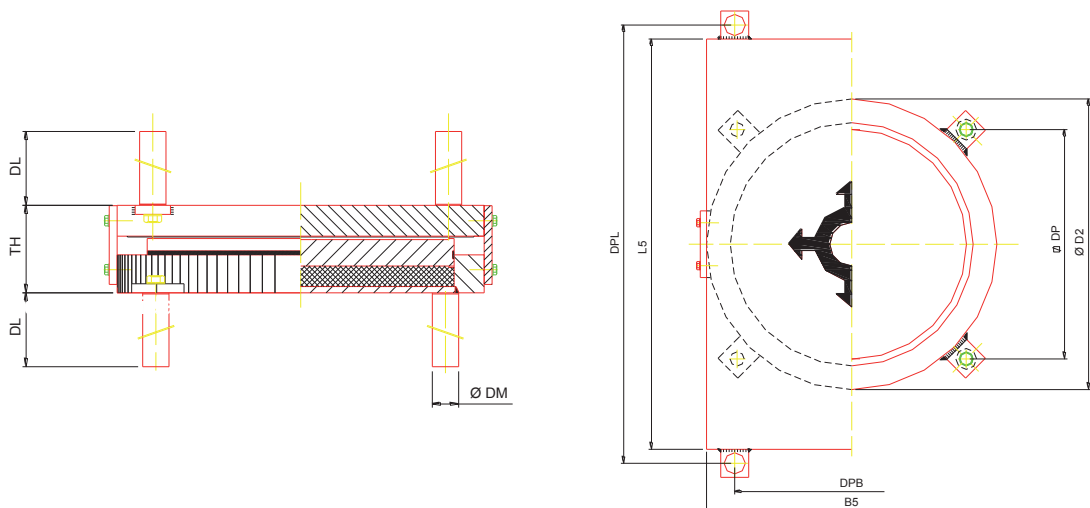
Rotation 0,01 rad

Other models are available under request



## Main Dimensions

| BEARING TYPE    | Pot Ø D2 (mm) | Total height TH (mm) | Top Plate Dimensions L5 x B5 (mm) | Recommended Pier Ø (mm) | DM Ø (mm) | DL (mm) | DPL (mm) | DPB (mm) | DP (mm) |
|-----------------|---------------|----------------------|-----------------------------------|-------------------------|-----------|---------|----------|----------|---------|
| PL 100/70 EN    | 230           | 83                   | 270 x 230                         | 368                     | 30        | 150     | 180      | 290      | 205     |
| PL 200/140 EN   | 295           | 83                   | 335 x 295                         | 472                     | 30        | 150     | 245      | 355      | 251     |
| PL 300/220 EN   | 352           | 87                   | 392 x 352                         | 563                     | 30        | 150     | 302      | 412      | 291     |
| PL 390/280 EN   | 395           | 90                   | 435 x 395                         | 632                     | 30        | 150     | 345      | 455      | 322     |
| PL 490/350 EN   | 428           | 92                   | 468 x 428                         | 685                     | 30        | 150     | 378      | 488      | 345     |
| PL 630/450 EN   | 482           | 95                   | 518 x 482                         | 771                     | 30        | 150     | 428      | 542      | 383     |
| PL 700/500 EN   | 508           | 97                   | 540 x 508                         | 813                     | 30        | 150     | 450      | 568      | 402     |
| PL 840/600 EN   | 556           | 105                  | 584 x 556                         | 890                     | 30        | 150     | 494      | 616      | 436     |
| PL 900/650 EN   | 581           | 106                  | 605 x 581                         | 930                     | 30        | 150     | 515      | 641      | 453     |
| PL 1000/700 EN  | 600           | 107                  | 620 x 600                         | 960                     | 30        | 150     | 530      | 660      | 467     |
| PL 1100/800 EN  | 643           | 110                  | 656 x 643                         | 1.029                   | 30        | 150     | 566      | 703      | 497     |
| PL 1200/850 EN  | 674           | 111                  | 683 x 674                         | 1.078                   | 30        | 150     | 593      | 734      | 519     |
| PL 1320/950 EN  | 707           | 116                  | 710 x 707                         | 1.131                   | 30        | 150     | 620      | 767      | 542     |
| PL 1400/1000 EN | 728           | 117                  | 728 x 728                         | 1.165                   | 40        | 200     | 638      | 788      | 557     |
| PL 1535/1100 EN | 760           | 119                  | 760 x 760                         | 1.216                   | 40        | 200     | 670      | 820      | 580     |
| PL 1700/1200 EN | 792           | 126                  | 792 x 792                         | 1.267                   | 40        | 200     | 702      | 852      | 602     |
| PL 1800/1300 EN | 824           | 128                  | 824 x 824                         | 1.318                   | 40        | 200     | 734      | 884      | 625     |
| PL 2000/1400 EN | 857           | 130                  | 857 x 857                         | 1.371                   | 40        | 200     | 767      | 917      | 648     |
| PL 2100/1500 EN | 888           | 136                  | 888 x 888                         | 1.421                   | 40        | 200     | 798      | 948      | 670     |
| PL 2200/1600 EN | 928           | 139                  | 928 x 928                         | 1.485                   | 40        | 200     | 838      | 988      | 699     |
| PL 2400/1700 EN | 946           | 150                  | 946 x 946                         | 1.514                   | 40        | 200     | 856      | 1006     | 711     |
| PL 2500/1800 EN | 971           | 151                  | 971 x 971                         | 1.554                   | 40        | 200     | 881      | 1031     | 729     |
| PL 2650/1900 EN | 1.000         | 153                  | 1000 x 1000                       | 1.600                   | 40        | 200     | 910      | 1060     | 750     |
| PL 2800/2000 EN | 1.036         | 155                  | 1036 x 1036                       | 1.658                   | 60        | 300     | 926      | 1116     | 789     |
| PL 3000/2200 EN | 1.076         | 157                  | 1076 x 1076                       | 1.722                   | 60        | 300     | 966      | 1156     | 817     |



The dimensions given are indicative. Desings and dimensions can be modified by VSL-CTT without prior notification.





# MAURER Swivel-Joist Expansion Joint



# MAURER Swivel-Joist Expansion Joint

The MAURER Swivel-Joist Expansion Joint is an enhancement of the Girder Grid Expansion Joint, considerably adding to the range of application of the MAURER Modular Expansion Joints. When large and complex movements are required then for geometrical and economic reasons the use of Swivel-Joist Joints are to be preferred rather than Girder Grid Joints.

Also in the case of restricted space, for instance in steel bridges and with the replacement of old rolling leaf type joints, the application of the watertight Swivel Joint is advisable.

The MAURER Swivel-Joist Expansion Joint's versatile movability makes it suitable for variable deformations along the bridge structure. The joint cannot only follow the main movement of the bridge in carriage-way direction but also distinctive movements in the 2 spatial directions perpendicular to the main direction. Even rotations of the bridge about the three spatial axes are easily coped with.

The edge beams run parallel to the structural edges. In order to avoid material fatigue, the traffic loads are transmitted to the adjoining reinforced concrete structure via anchor plates which are rigidly connected to the edge beams.

Dependent on the size of movement numerous centre beams are arranged between the edge beams. The center beams slide on obliquely arranged swivelling support bars, resting on elastic sliding bearings. Lift-off from the sliding bearing is prevented by means of a prestressed sliding spring that is arranged in the support stirrup underneath. Only in the joist-box (i.e. at the edge), the sliding spring is placed above the support bar. Stirrups provide constant prestressing that is geometrically controlled.

Vehicles travelling over the expansion joint transmit vertical and horizontal loads to the centre beams. The section forces resulting from the eccentric wheel loads are transmitted to the support bars (via prestressed sliding bearings) by means of the centre beams that act as continuous girders with torsionally elastic support. From there the forces are transmitted into the edges of the structure.

The bulbous-shaped EPDM strip seal is installed in a claw in the edge beam and centre beams without the need for additional clamping bars. The connection is watertight, with the sealing element set below the road surface level. This way it is protected against direct wheel or snowplough contact. As a rule, the admissible horizontal displacement of the strip seal in carriageway direction is 80 mm. With its preformed articulated sec-

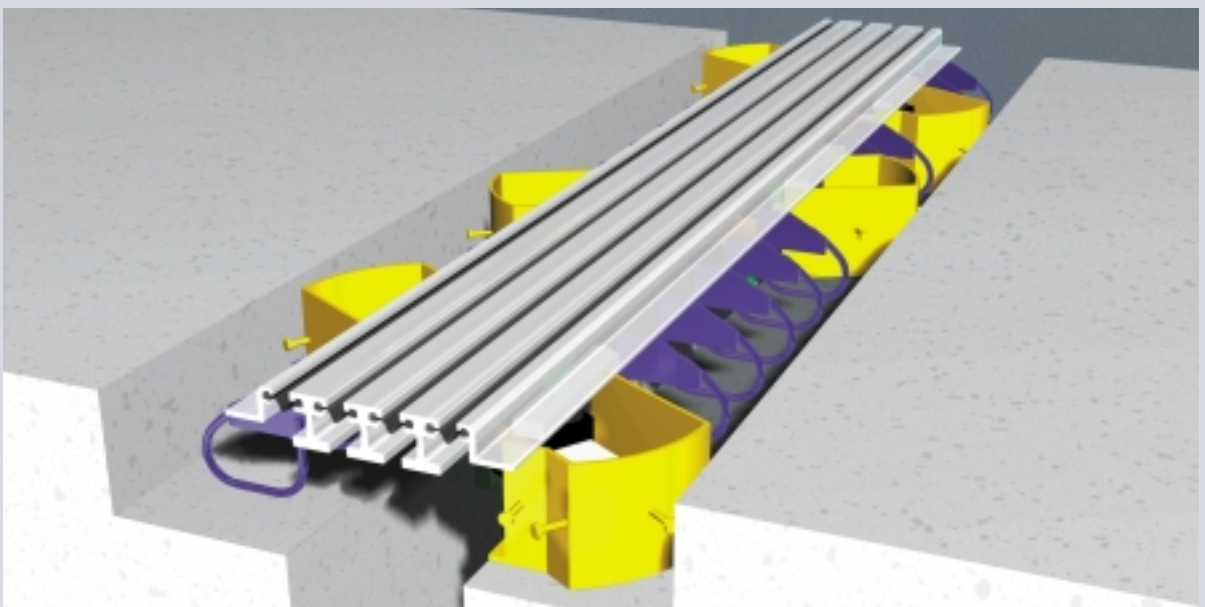


Replacement of a Roller Leaf Joint by a MAURER Swivel Joist Expansion Joint

tion it is possible to move the strip seal in direction of the carriageway without any appreciable strain.

Installation of the expansion joints is carried out in total length (i.e. in 1 piece) into the prepared recess. The structural connection shall be made in accordance with the rules of reinforced concrete construction and/or steel construction. The installation is completed with the connection of the waterproofing, followed with asphaltting.

Type DS 320  
displacement of  
the support bar  
on both sides





# Design Principles and Main Components

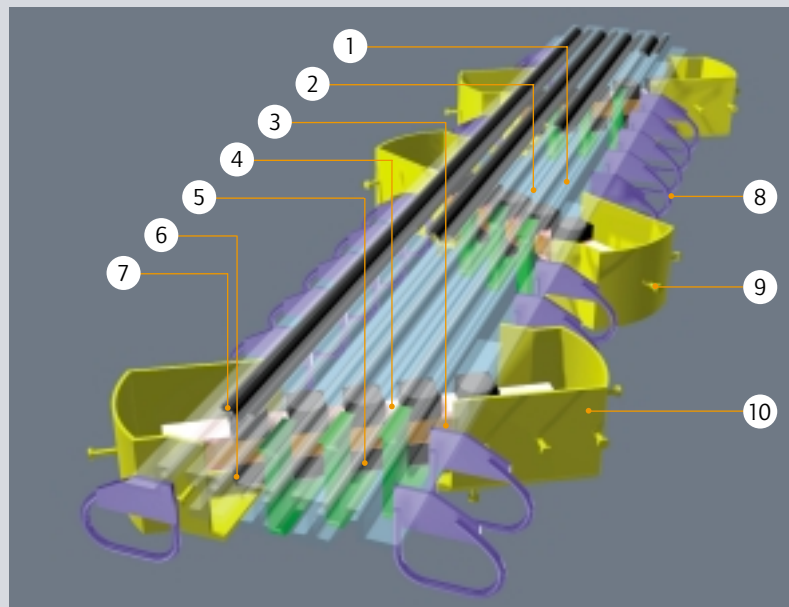
Technical approval and independent  
periodical inspection acc. to TL/TP-FÜ



Continuous in-house and field quality control, the use of high-grade materials, a quality assurance system in complying to DIN EN ISO 9001 as well as an environmental management system according to DIN EN ISO 14001 ensure the high standard of MAURER Swivel-Joist Expansion Joints.

All design elements of MAURER Expansion Joints are engineered in high-quality materials. All synthetics employed feature excellent resistance to ageing, wear, and show a superior performance to all kinds of environmental impacts. Relaxation of the bearing elements is insignificant even after decades of service. The sealing elements are insensitive to physical stress.

National regulations are to be taken into account in the choice of the corrosion protection system. We recommend using two-coat zinc-rich paint as the primer and epoxy-based micaceous iron ore as the finishing layer.



| Designation                             | Description  |
|---|--|
| <b>Supporting Elements</b>              |  |
| 1 edge beam                             | hot-rolled steel grade S 235 JR G2 with precision tolerances combining good weldability with notch toughness. Can be both shop and site butt-welded.                               |
| 2 centre beam                           | hot-rolled steel grade S 355 J2 G3 with precision tolerances combining good weldability with notch toughness. Can be both shop and site butt-welded by a patented system.          |
| 3 support bar                           | steel grade S 355 J2 G3, machined for precision tolerances.  |
| <b>Supports</b>                         |  |
| 4 sliding plate                         | stainless steel in bridge bearing quality material-no. 1.4401, sliding surfaces ground and polished.   |
| 5 sliding spring                        | natural rubber with vulcanized steel plates. Sliding surfaces of high strength PTFE sliding material.  |
| 6 sliding bearing                       | chloroprene-rubber reinforced with vulcanized steel plates, according to Bridge Bearing Standard DIN 4141, part 14. Sliding surfaces of high strength PTFE sliding material.       |
| <b>Sealing elements</b>                 |  |
| 7 strip seal 80                         | EPDM or chloroprene-rubber with high resistance to tear propagation, resistant to salt water, oil and ageing, available in any desired length. Hot vulcanization on site possible. |
| <b>Anchorage elements</b>               |  |
| 8 carriageway anchors at the edge beams | flat and round steel made of S 235 JR G2   |
| 9 anchor studs at the support boxes     | St37 K   |
| 10 support box                          | S 235 JR G2, to accommodate the sliding bearings, sliding springs, as well as providing the space required for the support bars in motion.   |

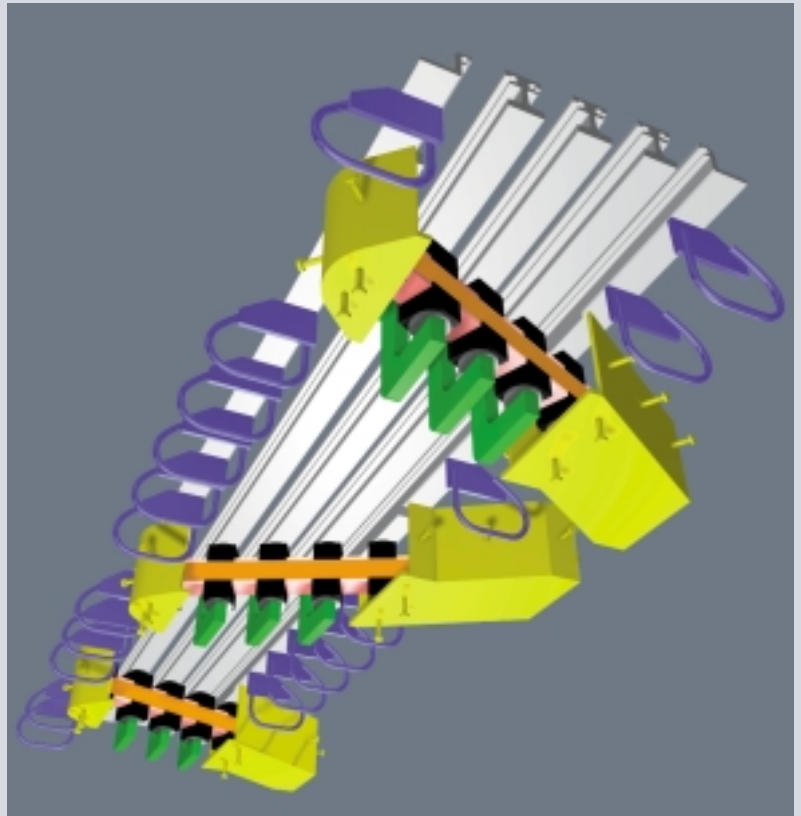
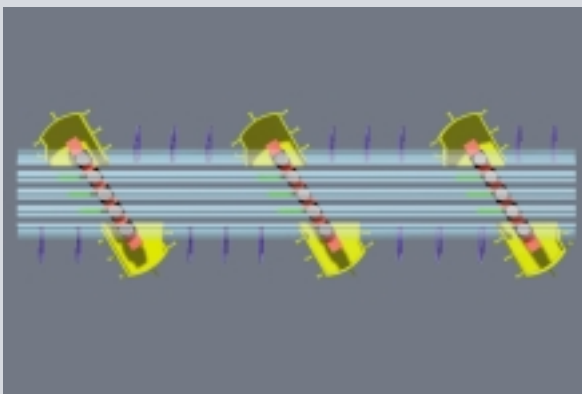
# Functional Principles

## Type DS320 displacement of a support bar that is fixed at one side view from below

The centre beams of the Swivel-Joist Expansion Joint can slide on support bars with the help of sliding bearings. By means of the geometrical arrangement of the support bars the position of the centre beams is controlled such that the overall width of the joint opening is equally subdivided to the joint gaps between the centre beams and between the centre beams and edge beams respectively.

This both simple and effective control mechanism means an important advantage of the Swivel-Joist Expansion Joint. Unrestrained absorption of movements and simultaneous transmission of traffic loads is safeguarded without additional control elements and without any defined direction of movement.

In case of larger movements, in order to avoid large spans the support bars are arranged in parallel. In this case an additional restraint is required or the positioning of parallel support bars in the two neighbouring traffic directions must be arranged such that they are inclined to each other.



The resilient bearings in respect to torsion enable horizontal and also vertical displacements of the structure as well as differences in height of the joint edges in case of a longitudinal slope.

The ample space in the joist-boxes serves to accommodate the motion sequence of the swivelling support bars in motion. The total movement of a support bar can be allocated to the two edges of the joint arbitrarily. Quite frequently the movement of the support bar is absorbed at one side, for example at the abutment, whereas at the opposite edge the support bar can rotate but is fixed in its displacement.

It will also be possible that for geometrical reasons, e.g. because of prestressing cables, the one-side displaceable support bars can be arranged in an alternating way.

The total movement can be distributed to both edges of the joint as per requirement or desire, for instance in equal parts. In steel bridges the edge structure is supported on cantilevers or supporting girders parallel to the end cross girder. As a rule the cantilever plates that are fixed to the edge structure in the manufacturing site are then welded to the steel end cross girder.

In shifting the movement to the opposite abutment, the eccentricities of the traffic loads that are introduced can be reduced to a minimum.

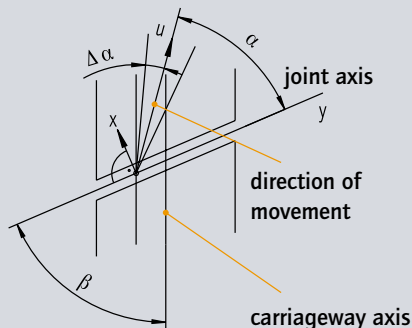
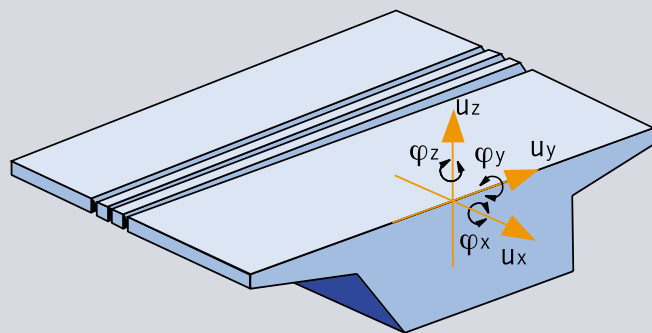
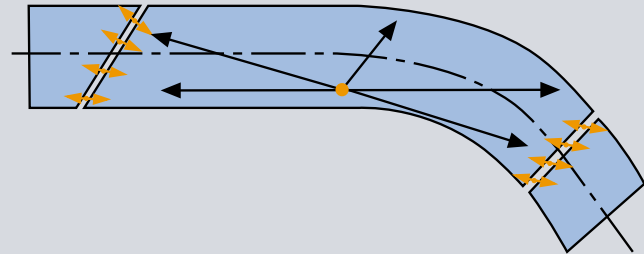
Contrary to the Girder Grid Joint, this type of Expansion Joint can accommodate the largest movements applied in bridge construction so far, which is facilitated by the fact that all centre beams are commonly supported by one support bar.

# Versatility

MAURER Swivel-Joist Expansion Joints can absorb all movements customary in bridge construction. The versatile mechanism of this type makes it suitable for variable skew angles along axes centred on a fixed point and also for complex hybrid movements and rotations about the spatial axes x, y and z.

The recess sizes given in the following pages will give the planner of the bridge structure some assistance for designing. The distribution of a support bar movement to each joint edge can be settled as per requirement or liking, other solutions than those shown below can be designed as well. All dimensions given are without obligation to the planner. For every project all dimensions will have to be determined case by case.

Geometrical restrictions which might be the consequence of the geometry of the boxes and support bars, can be changed by special design any time.



Due to the high standardisation expenditure resulting from Technical Test Specifications according to TL/TP-FÜ only applications of frequent use had been considered (please also refer to the appertaining documents). In Germany the admissible movement per joint gap in transverse direction to the joint-axis has been restricted to

65 mm. However, all expansion joints are designed to take movements of 80 mm. The following table shows the admissible movements for standard designs of the individual types.

| type  | weight<br>[kg/m] | type   | weight<br>[kg/m] |
|-------|------------------|--------|------------------|
| DS160 | 270              | DS720  | 930              |
| DS240 | 350              | DS800  | 1030             |
| DS320 | 440              | DS880  | 1140             |
| DS400 | 530              | DS960  | 1260             |
| DS480 | 620              | DS1040 | 1380             |
| DS560 | 720              | DS1120 | 1500             |
| DS640 | 820              | DS1200 | 1620             |

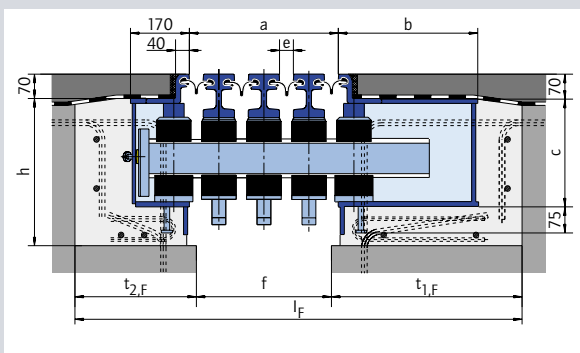
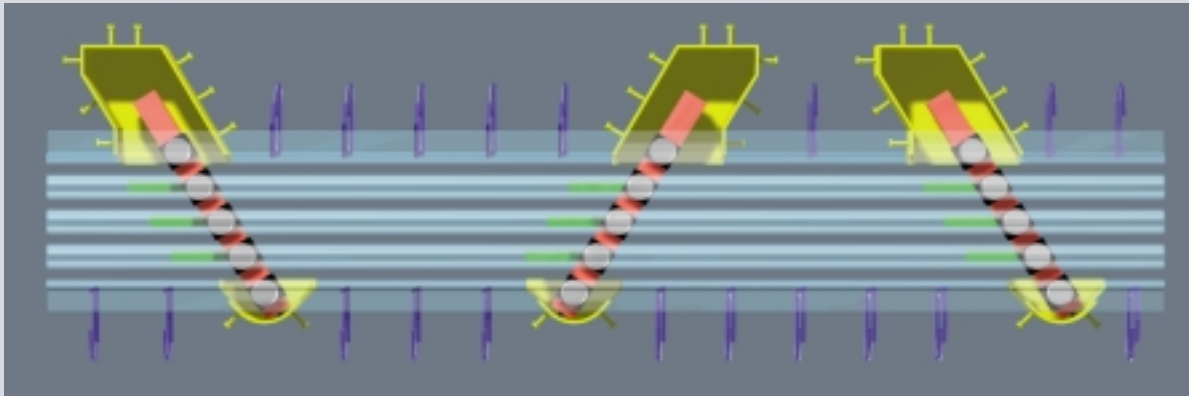
The given numbers of the weight of joints is only to calculate the size of cranes and lifting devices.

| n  | type   | $u_x$<br>[mm] | $u_y$ *)<br>[mm] | $u_z$ *)<br>[mm]<br>mid-position | $\alpha$<br>[°]         | $\Delta\alpha$ | $\beta$<br>[°] |
|----|--------|---------------|------------------|----------------------------------|-------------------------|----------------|----------------|
| 2  | DS160  | 130 (160)     | $\pm 80$         | $\pm 10$                         |                         |                |                |
| 3  | DS240  | 195 (240)     | $\pm 120$        | $\pm 15$                         |                         |                |                |
| 4  | DS320  | 260 (320)     | $\pm 160$        | $\pm 20$                         |                         |                |                |
| 5  | DS400  | 325 (400)     | $\pm 200$        | $\pm 25$                         |                         |                |                |
| 6  | DS480  | 390 (480)     | $\pm 240$        | $\pm 30$                         |                         |                |                |
| 7  | DS560  | 455 (560)     | $\pm 280$        | $\pm 35$                         |                         |                |                |
| 8  | DS640  | 520 (640)     | $\pm 320$        | $\pm 40$                         | $90^\circ \pm 45^\circ$ | any            | any            |
| 9  | DS720  | 585 (720)     | $\pm 360$        | $\pm 40$                         |                         |                |                |
| 10 | DS800  | 650 (800)     | $\pm 400$        | $\pm 40$                         |                         |                |                |
| 11 | DS880  | 715 (880)     | $\pm 440$        | $\pm 40$                         |                         |                |                |
| 12 | DS960  | 780 (960)     | $\pm 480$        | $\pm 45$                         |                         |                |                |
| 13 | DS1040 | 845 (1040)    | $\pm 520$        | $\pm 45$                         |                         |                |                |
| 14 | DS1120 | 910 (1120)    | $\pm 560$        | $\pm 45$                         |                         |                |                |
| 15 | DS1200 | 975 (1200)    | $\pm 600$        | $\pm 45$                         |                         |                |                |

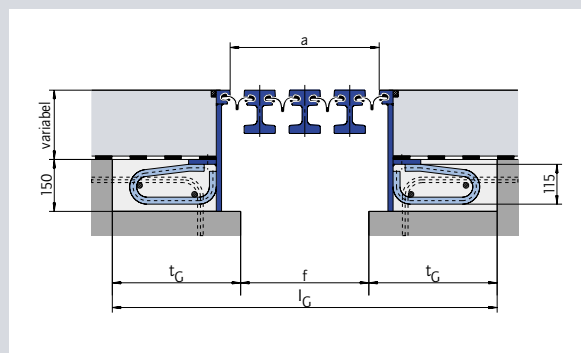
\*) Values apply to standard design, bigger values are possible, too.

# Movement of support bars to one side only

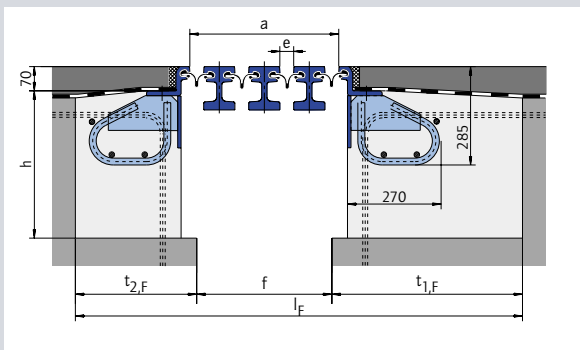
## Recess dimensions



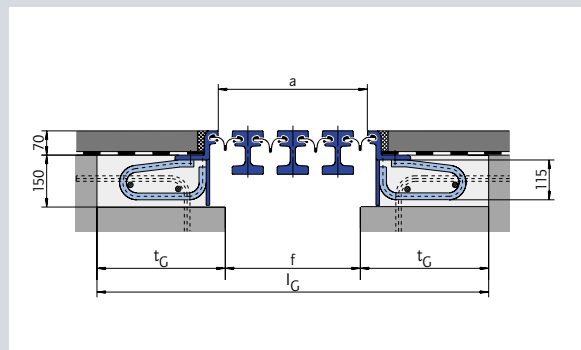
cross section through support box at carriageway



footway cross section - version 1



carriageway cross section at anchorage



footway cross section - version 2

### Presetting of gap dimension $e = 30 \text{ mm}$

| MAURER exp. joint |        | structural dimensions |        |        | concrete recess dimensions |                       |                                       | concrete gap dimensions |                       |                     |                     |
|-------------------|--------|-----------------------|--------|--------|----------------------------|-----------------------|---------------------------------------|-------------------------|-----------------------|---------------------|---------------------|
| n                 | type   | a [mm]                | b [mm] | c [mm] | h [mm]                     | t <sub>1,F</sub> [mm] | t <sub>2,F</sub> =t <sub>G</sub> [mm] | f <sub>min</sub> [mm]   | f <sub>max</sub> [mm] | l <sub>F</sub> [mm] | l <sub>G</sub> [mm] |
| 2                 | DS160  | 150                   | 260    | 290    | 420                        | 400                   | 350                                   | 115                     | 130                   | 865                 | 815                 |
| 3                 | DS240  | 270                   | 310    | 300    | 430                        | 450                   | 380                                   | 225                     | 250                   | 1055                | 985                 |
| 4                 | DS320  | 390                   | 360    | 310    | 440                        | 500                   | 390                                   | 300                     | 370                   | 1190                | 1080                |
| 5                 | DS400  | 510                   | 410    | 320    | 450                        | 560                   | 400                                   | 410                     | 490                   | 1370                | 1210                |
| 6                 | DS480  | 630                   | 460    | 330    | 460                        | 620                   | 410                                   | 520                     | 610                   | 1550                | 1340                |
| 7                 | DS560  | 750                   | 510    | 340    | 470                        | 680                   | 420                                   | 630                     | 730                   | 1730                | 1470                |
| 8                 | DS640  | 870                   | 560    | 350    | 480                        | 740                   | 430                                   | 740                     | 850                   | 1910                | 1600                |
| 9                 | DS720  | 990                   | 610    | 360    | 490                        | 800                   | 440                                   | 850                     | 970                   | 2090                | 1730                |
| 10                | DS800  | 1110                  | 660    | 370    | 500                        | 860                   | 450                                   | 960                     | 1090                  | 2270                | 1860                |
| 11                | DS880  | 1230                  | 710    | 380    | 510                        | 920                   | 460                                   | 1070                    | 1210                  | 2450                | 1990                |
| 12                | DS960  | 1350                  | 760    | 390    | 520                        | 980                   | 470                                   | 1180                    | 1330                  | 2630                | 2120                |
| 13                | DS1040 | 1470                  | 810    | 400    | 530                        | 1040                  | 480                                   | 1290                    | 1450                  | 2810                | 2250                |
| 14                | DS1120 | 1590                  | 860    | 410    | 540                        | 1100                  | 490                                   | 1400                    | 1570                  | 2990                | 2380                |
| 15                | DS1200 | 1710                  | 910    | 420    | 550                        | 1160                  | 500                                   | 1510                    | 1690                  | 3170                | 2510                |

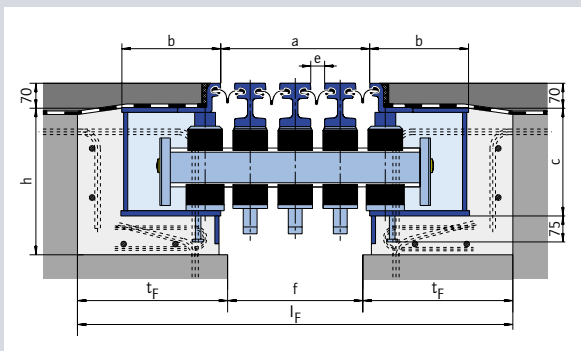
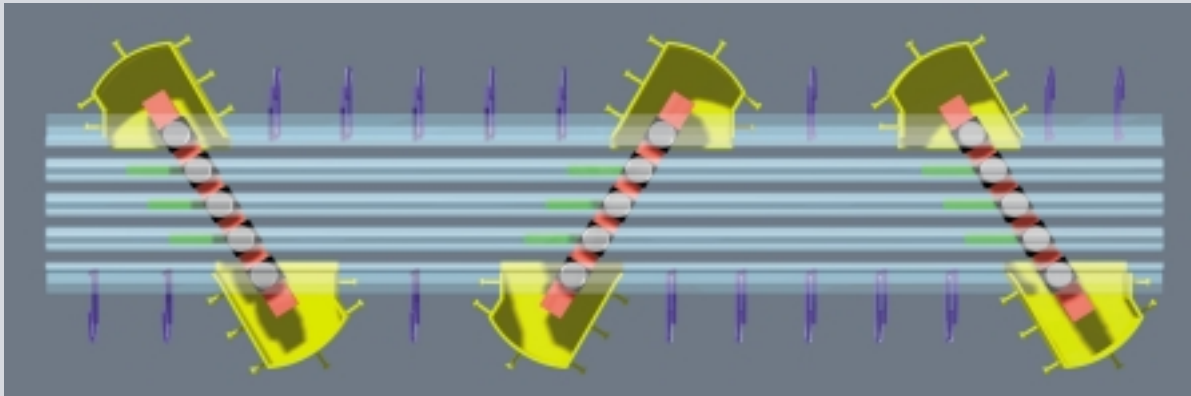
For structures acc. to directives TL/TP-FÜ you must also observe the details given in the standard testing specifications

- All dimensions are rectangular to the joint axis y.
- n = number of sealing elements
- a, f and l apply to a presetting dimension  $e = 30 \text{ mm}$  for every joint gap and must be adjusted by  $n \times \Delta e$  in case of deviating presetting dimension e.
- recesses for footway joists, restraints and tube openings as a rule require prior consent between the planner of the structure and the manufacturer of the expansion joint.
- Smaller recess dimensions are possible by special design of MAURER.

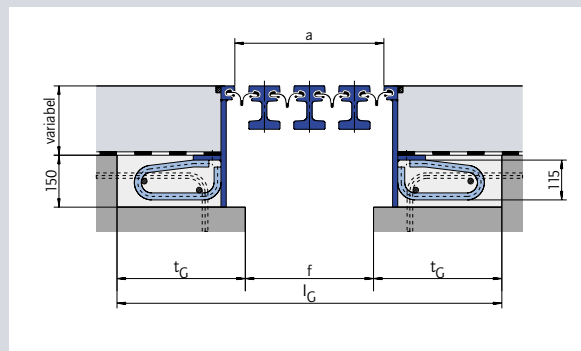


# Movement of support bars to both sides

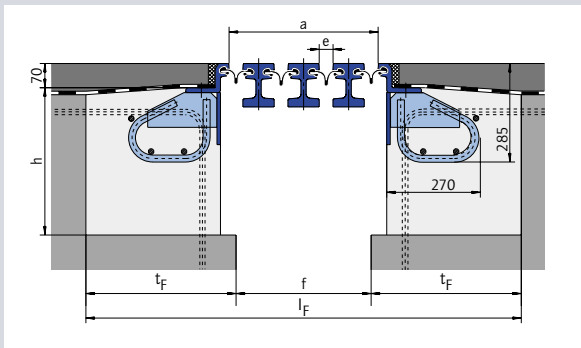
## Recess dimensions



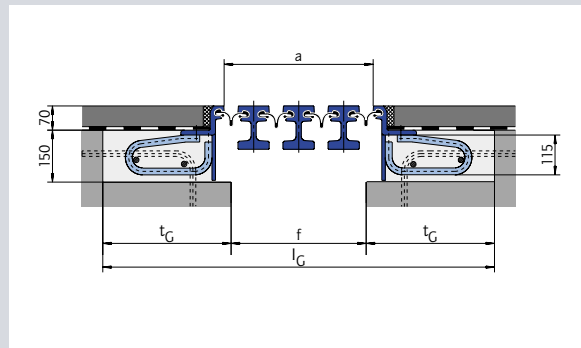
cross section through support box at carriageway



footway cross section - version 1



carriageway cross section at anchorage



footway cross section - version 2

Presetting of gap dimension  $e = 30 \text{ mm}$

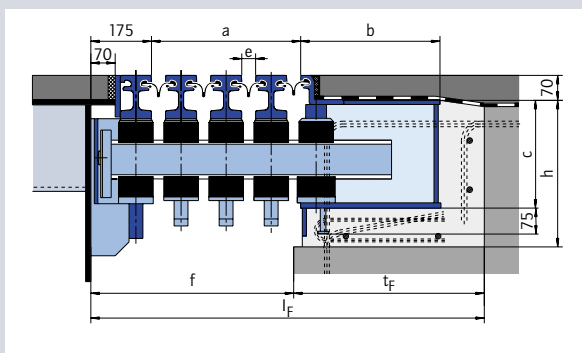
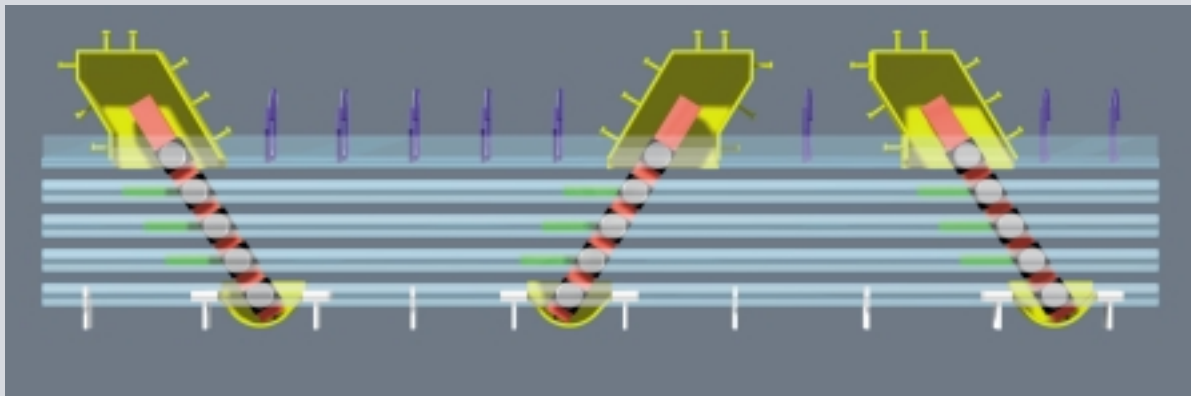
| MAURER exp. joint |        | design data |        |        | concrete-recess dimensions |                     |                     | concrete-gap dimensions |                       |                     |                     |
|-------------------|--------|-------------|--------|--------|----------------------------|---------------------|---------------------|-------------------------|-----------------------|---------------------|---------------------|
| n                 | type   | a [mm]      | b [mm] | c [mm] | h [mm]                     | t <sub>F</sub> [mm] | t <sub>G</sub> [mm] | f <sub>min</sub> [mm]   | f <sub>max</sub> [mm] | l <sub>F</sub> [mm] | l <sub>G</sub> [mm] |
| 2                 | DS160  | 150         | 215    | 290    | 420                        | 350                 | 350                 | 115                     | 130                   | 815                 | 815                 |
| 3                 | DS240  | 270         | 255    | 300    | 430                        | 395                 | 380                 | 225                     | 250                   | 1015                | 985                 |
| 4                 | DS320  | 390         | 285    | 310    | 440                        | 435                 | 390                 | 300                     | 370                   | 1170                | 1080                |
| 5                 | DS400  | 510         | 355    | 320    | 450                        | 510                 | 400                 | 410                     | 490                   | 1430                | 1210                |
| 6                 | DS480  | 630         | 380    | 330    | 460                        | 550                 | 410                 | 520                     | 610                   | 1620                | 1340                |
| 7                 | DS560  | 750         | 410    | 340    | 470                        | 590                 | 420                 | 630                     | 730                   | 1810                | 1470                |
| 8                 | DS640  | 870         | 430    | 350    | 480                        | 620                 | 430                 | 740                     | 850                   | 1980                | 1600                |
| 9                 | DS720  | 990         | 460    | 360    | 490                        | 660                 | 440                 | 850                     | 970                   | 2170                | 1730                |
| 10                | DS800  | 1110        | 490    | 370    | 500                        | 690                 | 450                 | 960                     | 1090                  | 2340                | 1860                |
| 11                | DS880  | 1230        | 515    | 380    | 510                        | 730                 | 460                 | 1070                    | 1210                  | 2530                | 1990                |
| 12                | DS960  | 1350        | 550    | 390    | 520                        | 770                 | 470                 | 1180                    | 1330                  | 2720                | 2120                |
| 13                | DS1040 | 1470        | 585    | 400    | 530                        | 820                 | 480                 | 1290                    | 1450                  | 2930                | 2250                |
| 14                | DS1120 | 1590        | 615    | 410    | 540                        | 860                 | 490                 | 1400                    | 1570                  | 3120                | 2380                |
| 15                | DS1200 | 1710        | 645    | 420    | 550                        | 900                 | 500                 | 1510                    | 1690                  | 3310                | 2510                |

For structures acc. to directives TL/TP-FÜ you must also observe the details given in the standard testing specifications

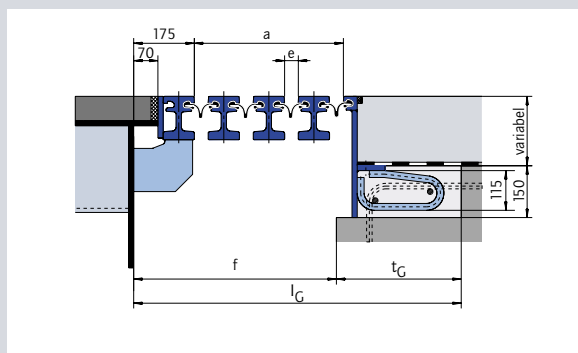
- All dimensions are rectangular to the joint axis y.
- $n$  = number of sealing elements
- $a$ ,  $f$  and  $l$  apply to a presetting dimension  $e = 30 \text{ mm}$  for every joint gap and must be adjusted by  $n \times \Delta e$  in case of deviating presetting dimension  $e$ .
- recesses for footway joists, restraints and tube openings as a rule require prior consent between the planner of the structure and the manufacturer of the expansion joint.
- Smaller recess dimensions are possible by special design of MAURER.

# Steel connection

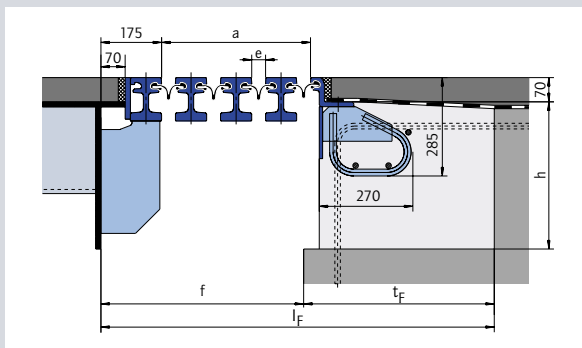
## Recess dimensions



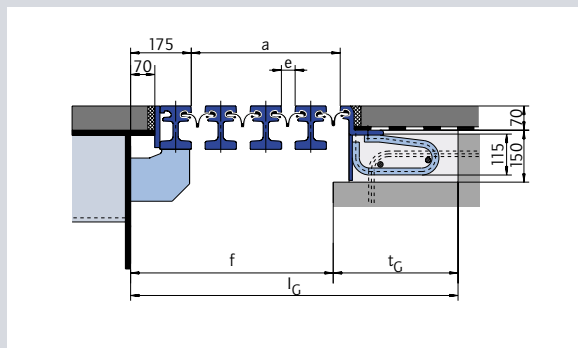
cross section through support box at carriageway



footway cross section - version 1



carriageway cross section at anchorage



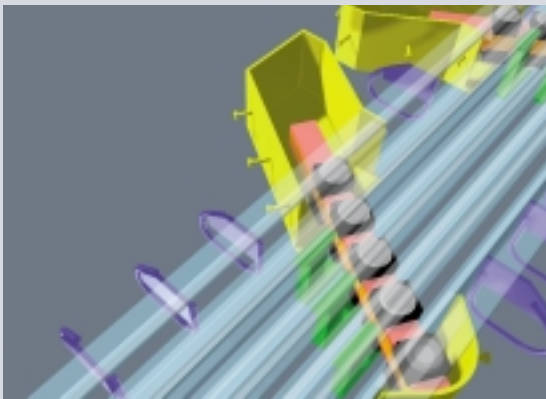
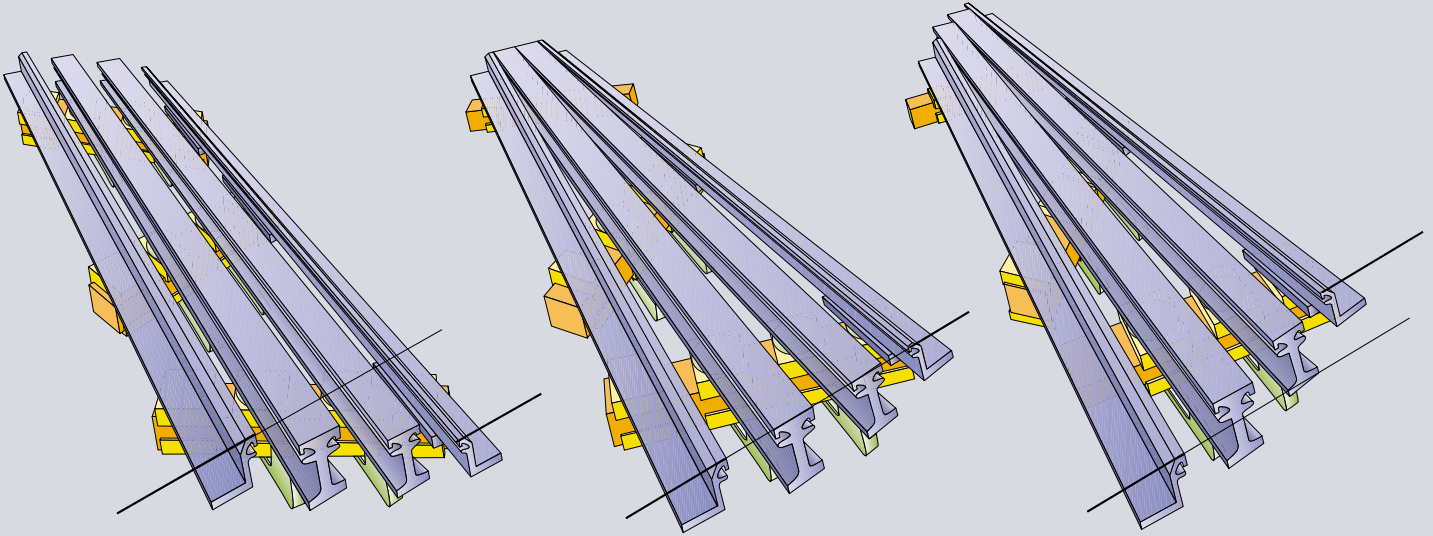
footway cross section - version 2

| Presetting of gap dimension $e = 30 \text{ mm}$ |        |                       |        |        |                            |                     |                     |                         |                       |                     |                     |
|---|--------|-----------------------|--------|--------|----------------------------|---------------------|---------------------|-------------------------|-----------------------|---------------------|---------------------|
| MAURER exp. joint                               |        | structural dimensions |        |        | concrete recess dimensions |                     |                     | concrete gap dimensions |                       |                     |                     |
| n   | type   | a [mm]                | b [mm] | c [mm] | h [mm]                     | t <sub>F</sub> [mm] | t <sub>G</sub> [mm] | f <sub>min</sub> [mm]   | f <sub>max</sub> [mm] | l <sub>F</sub> [mm] | l <sub>G</sub> [mm] |
| 2   | DS160  | 150                   | 260    | 290    | 420                        | 400                 | 385                 | 300                     | 310                   | 700                 | 685                 |
| 3   | DS240  | 270                   | 310    | 300    | 430                        | 470                 | 400                 | 350                     | 430                   | 820                 | 750                 |
| 4   | DS320  | 390                   | 360    | 310    | 440                        | 540                 | 410                 | 460                     | 550                   | 1000                | 870                 |
| 5   | DS400  | 510                   | 410    | 320    | 450                        | 610                 | 425                 | 570                     | 670                   | 1180                | 995                 |
| 6   | DS480  | 630                   | 460    | 330    | 460                        | 680                 | 440                 | 680                     | 790                   | 1360                | 1120                |
| 7   | DS560  | 750                   | 510    | 340    | 470                        | 750                 | 450                 | 790                     | 910                   | 1540                | 1240                |
| 8   | DS640  | 870                   | 560    | 350    | 480                        | 820                 | 470                 | 900                     | 1030                  | 1720                | 1370                |
| 9   | DS720  | 990                   | 610    | 360    | 490                        | 890                 | 480                 | 1010                    | 1150                  | 1900                | 1490                |
| 10  | DS800  | 1110                  | 660    | 370    | 500                        | 960                 | 500                 | 1120                    | 1270                  | 2080                | 1620                |
| 11  | DS880  | 1230                  | 710    | 380    | 510                        | 1030                | 520                 | 1230                    | 1390                  | 2260                | 1750                |
| 12  | DS960  | 1350                  | 760    | 390    | 520                        | 1100                | 530                 | 1340                    | 1510                  | 2440                | 1870                |
| 13  | DS1040 | 1470                  | 810    | 400    | 530                        | 1170                | 550                 | 1450                    | 1630                  | 2620                | 2000                |
| 14  | DS1120 | 1590                  | 860    | 410    | 540                        | 1240                | 560                 | 1560                    | 1750                  | 2800                | 2120                |
| 15  | DS1200 | 1710                  | 910    | 420    | 550                        | 1310                | 570                 | 1670                    | 1870                  | 2980                | 2240                |

For structures acc. to directives TL/TP-FÜ you must also observe the details given in the standard testing specifications

- All dimensions are rectangular to the joint axis y.
- n = number of sealing elements
- a, f and l apply to a presetting dimension  $e = 30 \text{ mm}$  for every joint gap and must be adjusted by  $n \times \Delta e$  in case of deviating presetting dimension e.
- recesses for footway joists, restraints and tube openings as a rule require prior consent between the planner of the structure and the manufacturer of the expansion joint.
- Smaller recess dimensions are possible by special design of MAURER.

# Control of Swivel-Joist Expansion Joints

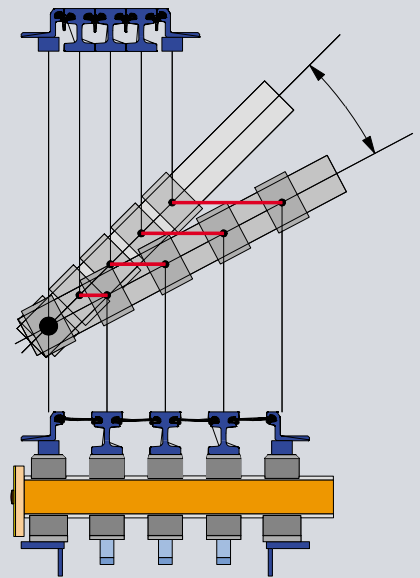


**Type DS320**  
Control of the movement of  
support bars to one side

On the one hand, rigid control mechanisms guarantee an exact allocation of the total movement to the individual gaps, and this mechanism also employs a clearly defined support system. But on the other hand such a rigid control is prone to strains that are caused by unplanned and unexpected movements, such as dimensional tolerances, difference in temperature in the respective members of the joint, and deviations from the designed movement. Any support system that neither accepts dimensional tolerance nor is prestressed resiliently, gives

cause to strong noise emission and high wear. For this reason, modern modular joints employ a resilient control system. Usually this is achieved by plastic springs that are either being deformed along their longitudinal axis or by means of shear deflection. The individual center beams are connected by such springs. Thus we have several chains of sequentially arranged springs. As it is the case with such a system, the total resulting stiffness is a function of the number of center beams, or modules that are connected by this way.

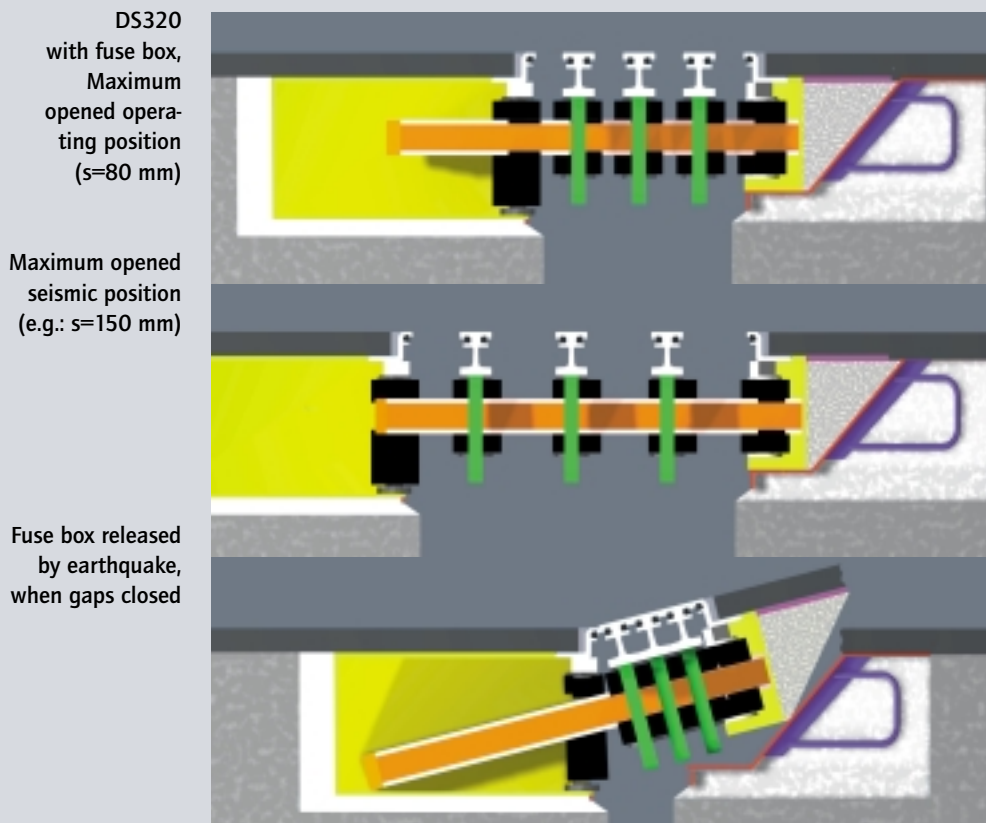
One exception is the swivel joint system that is being controlled by guided and shear-resilient torsion hinges. This system has all the advantages of the exact scissor control system, but, due to its shear resilience, in addition the swivel joint system can also compensate dimensional tolerances and strains. Because each center beam is controlled individually, the stiffness of the horizontal support system is independent of the number of modules, or center beams. A swivel joint system employs a control mechanism with parallel arranged springs.



If the superstructure moves, the support bars will be pushed through the swivelling guiding bearings and thus experience a swivel movement. Due to the fixed distances of the torsion elements, this swivel movement gives rise to an almost even allocation of the total movement to the individual gap openings.

For large and irregular movements (e.g. from earthquake) there is no alternative to the MAURER Swivel-Joist Expansion Joint.

# MAURER Seismic Expansion Joint



Earthquakes can generate structural movements which are considerably larger, many times quicker and much more complex in their direction than those under normal operational conditions. That is why applications of that kind require particular adaptation of the expansion joint.

The conventional requirements set to the operating condition are irrelevant during seismic action. Of particular importance is, however:

- maintaining the serviceability of the structure after the earthquake at least for emergency vehicles as well as
- protection of the structure from impact damages caused by closing movements during the earthquake.

As a rule, conventional expansion joint systems can not fulfil these requirements. They are designed for movement sizes and directions under service condition. Whereas surpassing the admissible single gap widths during the quake is not dangerous in itself, this will cause the control system to be destroyed, as well as the mechanical gap width delimiters and the supporting elements. During seismic action the horizontally and/ or vertically undefinable direction of movement will eventually result in a blockage and destruction of the expansion joint. Due to high accelerations during a quake the sliding support elements are destroyed. The result will be a service breakdown of the bridge which is of vital importance for all emergency vehicles.

Employing a long and superior performance history in normal service conditions, the Swivel-Joist Expansion Joint had been further enhanced such as to also fulfil the aforementioned seismic requirements.

## a.) General

There is a demand for reliable and economic solutions to cope with seismic strains. For operating condition the MAURER-SeismicExpansion Joint is dimensioned like a Swivel Joist Expansion Joint, geometrically adapted to the seismic movements. By this, the number of sealing elements as well as the wearing parts and finally the price are minimized. All movements are transmitted without constraints or damages.

## b.) Direction of movement

The direction of movement is only restricted by geometrical obstacles in the support box. The unique Swivel Joist design allows for all kind of adaptations.

## c.) Acceleration

Conventional modular expansion joints are controlled by springs that are arranged in series. Due to the mass inertia of the centre beams, seismic accelerations bring about inadmissible gap width deviations which finally destroy the supporting structure. In case that gap width delimiters should be provided here, the admissible opening of the Expansion joint is then however restricted to operating conditions only. The centre beams of MAURER-Seismic Expansion Joints are arranged in parallel, which means that each centre beam moves independently and hence it follows that there only minor additional gap width deviations will occur.



#### d.) Opening movements

The admissible gap width, which as a rule is 80 mm, can be exceeded during seismic action. The control elements, following the "theorem on intersecting lines", enable every opening condition of the expansion joint. By adapting the length of the support bars, opening conditions of whatever magnitude can be accommodated without strain. The sealing element will be adapted such as to follow the combined earthquake movements without the risk of unfolding. If for economic reasons the working range of the sealing element shall be limited, then by simple means this original limit can be restored again after the quake is over.



University of  
Berkeley/ California  
Testing equipment

#### e.) Closing movements

When the expansion joint or the structural gap closes, there might result damages or even breakdown of the structure. For better protection of the bridge structure, MAURER SÖHNE has developed a so-called "fuse box" in addition to the new-style Seismic Expansion Joint. If the expansion joint should close in case of a quake, predetermined breaking points will be activated. The anchorage system disengages alongside a ramp according to a defined failure load and will return to its original position as soon as the quake is over. Stoppers provide temporary fixation of the position. Emergency vehicles can pass the joints. However, the anchorage will have to be reconstructed. An application of a fuse box can - as the case may be - considerably reduce the number of sealing elements required.



maximum  
transverse  
displacement

#### f.) Proof by testing

The behaviour of the MAURER Seismic Expansion Joint was tested at the University of Berkeley/ California, actually the only institution capable to do such tests. A test specimen of type DS 560 in scale 1:1 was subject to displacements of extremely high velocity and changing directions, at the same time simulating a variety of recorded seismic patterns.

Simultaneously longitudinal and transverse displacements of 1120 mm, coupled with a vertical offset of up to 6 %, were applied at resulting velocities of up to approx. 1600 mm/s. Even after imposing 30 full seismic patterns, no damages could be detected.

# Bridges with MAURER Swivel-Joist Expansion Joints



Vasco da Gama Bridge, Portugal  
with fuse box for  
earthquake movements  
built: 1997  
Cable-stayed bridge  
main span: 829 m  
type of joint:  
DS1440 59.00 lin. metres



Storebælt East Bridge, Denmark  
built: 1996  
Suspension bridge  
main span: 1624 m  
type of joint:  
DS2000 51.40 lin. metres  
DS1520 25.70 lin. metres  
DS1200 25.70 lin. metres  
DS960 25.70 lin. metres  
DS800 25.70 lin. metres



Höga Kusten Bridge, Sweden  
built: 1997  
suspension bridge  
main span: 1210 m  
type of joint:  
DS1840 36.80 lin. metres



Stura di Demonte, Italy  
built: 1999  
Composite steel bridge  
length of bridge: 2750 m  
type of joint:  
DS1200 24.50 lin. metres



**Maurer Söhne Head Office**  
Frankfurter Ring 193, D-80807 München  
P.O. Box 44 01 45, 80750 München/Germany  
Phone ++49/89/32394-0  
Fax ++49/89/32394-306  
e-mail [ba@mchn.maurer-soehne.de](mailto:ba@mchn.maurer-soehne.de)  
Internet [www.maurer-soehne.de](http://www.maurer-soehne.de)

**Maurer Söhne Main Branch Office**  
Zum Holzplatz 2, D-44536 Lünen  
P.O. Box 63 40, D-44520 Lünen  
Phone ++49/2 31/ 4 34 01-0  
Fax ++49/2 31/4 34 01-11

**Maurer Söhne Subsidiary Plant**  
Kamenzer Str. 4-6, D-02994 Bernsdorf  
P.O. Box 55, D-02992 Bernsdorf  
Phone ++49/3 57 23/ 2 37-0  
Fax ++49/3 57 23/2 37-20